COMITE DIRECTIVO PARA LA INVESTIGACION
DE LOS RECURSOS MINERALES EN MEXICO

Muy afectuosamente para
la Biblioteca del Instituto
Geológico de México.
El Autor
J. González R.
México D.F. a
17 de octubre de 1945.

EL AZUFRE

POR EL

ING. JENARO GONZALEZ REYNA

GEOLOGO DE LA DIRECCION GENERAL DE MINAS Y PETROLEO
DE LA S. E. N. Y DEL INSTITUTO DE GEOLOGIA DE LA U. N. A. DE M.

MEXICO

1945

PROLOGO

La Universidad Nacional de México y la Secretaría de la Economía Nacional, desde bastante tiempo atrás y por conducto de sus respectivas dependencias: el Instituto de Geología y la Dirección General de Minas y Petróleo, han venido operando de conformidad con un amplio plan de cooperación para lograr el conocimiento más exacto posible de los recursos minerales de México susceptibles de aprovechamiento, tanto para fomentar la minería, cuanto para encauzar un movimiento en favor de la industrialización del país.

Debido a dicha cooperación, tanto los investigadores del Instituto de Geología como los de la mencionada Secretaría, contando con los elementos económicos proporcionados por ella, han podido realizar estudios acerca de diversos minerales, siguiendo un plan sistemático de investigación que gradualmente podrá perfeccionarse al disponer de más amplios recursos y de personal experimentado.

Como consecuencia de la actividad aludida, se continúa con el presente volumen una nueva serie de publicaciones que es de esperarse sea recibida con interés por nuestros hombres de empresa y por los especialistas, pues por medio de ellas podrán obtener orientaciones provechosas para iniciar o promover nuevas inversiones.

Es alentador declarar, por otra parte, que la continuación de estudios geológico-económicos en México ha recibido un nuevo impulso, merced a la reciente creación de un organismo titulado: "Comité Directivo para la investigación de los Recursos Minerales de México", en el que participan la Universidad Nacional de México, la Secretaría de la Economía Nacional y la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica, el cual cuenta para su funcionamiento con un subsidio del Gobierno Federal interesado en esta clase de trabajos por el carácter de interés público que entrañan y sería de desearse que nuestros nacionales acojan con entusiasmo y presten todo su apoyo a las elevadas finalidades que se persiguen.

México, D. F., agosto de 1945.

EL VOCAL PRESIDENTE,
Manuel J. Zevada.

EL VOCAL EJECUTIVO,
Teodoro Flores.

INTRODUCCION

Las autoridades encargadas de la investigación y aprovechamiento de los muy variados recursos minerales del país, que por su importancia como elementos de bienestar, o por sus aplicaciones industriales o bélicas son de incalculable valor para su progreso, de acuerdo con las medidas y recursos a su alcance han venido efectuando una serie de investigaciones relativas a depósitos minerales cuyos metales o compuestos, son susceptibles de convertirse, mediante su tratamiento y financiamiento adecuados en fuentes de riqueza para nuestros nacionales.

Frecuentemente el público se dirige a esas autoridades, representadas por la Dirección General de Minas y Petróleo de la Secretaría de la Economía Nacional, y por el Instituto Geológico dependiente de la Universidad Nacional Autónoma de México, solicitando datos sobre una gran variedad de substancias minerales o sus distintas aplicaciones. En consecuencia, y con la mira de dar a conocer los datos disponibles, muy dispersos en la literatura geológico-minera, se ha proyectado escribir una serie de memorias, de la cual forma parte la presente.

Se ha tenido en cuenta además, el interés que hay por el conocimiento y apreciación de lo que en realidad existe en el subsuelo y superficie del país, deseándose formar así un verdadero catálogo de la riqueza minera de la Nación, estimando sus posibilidades en cada caso con la mira primordial de aprovechar esas riquezas, al presentarse las oportunidades o al crearse determinadas necesidades, producto de circunstancias como las actualmente reinantes, tanto nacionales como internacionales.

De acuerdo con lo expresado en el párrafo anterior, es satisfactorio el que se pretende llevar a cabo activas exploraciones e investigaciones de los recursos naturales de que se dispone. Actualmente, por desgracia, muchas localidades mineralizadas no representan sino simplemente lugares donde existen determinados minerales, sin que se sepa la importancia de los mismos y la riqueza potencial que representan para la nación. En tiempos de paz en un país extenso y magníficamente dotado de criaderos metalíferos, como lo es México, es conveniente atender en todas sus fases y dedicar los esfuerzos que sean indispensables, a las investigaciones ya citadas, cuyos resultados llegarán a ser, como lo han sido para otras naciones.

No es posible poner los cimientos de la economía de una nación, si ésta depende para sus industrias de materias primas extranjeras, que teniendo que ser importadas, pagándose altos impuestos, hacen que la economía de dicho pueblo sea totalmente insegura, exponiéndose a fracasos y miserias, empobreciendo a un pueblo que innecesariamente es importador, cuando sobradamente pudiera tornarse en exportador no solamente de materias primas, que no es la mejor de las soluciones; sino en un productor de materias elaboradas y con un fuerte desarrollo industrial, que es siempre, en la vida moderna de las naciones, una de sus mejores fuentes de comodidades, proporcionando, a la vez, más elevados niveles de vida para sus ciudadanos.

La situación económica de México siempre ha estado sujeta en la mayoría de las

veces a la necesidad de efectuar importaciones, tanto de los Estados Unidos como de Europa, y aún de Asia, para poder sostenerse. Creemos que lo anterior es un verdadero infortunio, pues bien se sabe, y pruebas de ello existen, que con las medidas proteccionistas indispensables y con la debida exploración de nuestro suelo mediante un programa de investigaciones sistemáticas de los recursos minerales, bien se podría organizar una industria fuerte, sin necesidad de empobrecer a la nación al verse forzadas las escasas industrias, a importar casi todas las materias primas que les sirven para elaborar sus productos.

Tener el debido conocimiento de la riqueza potencial de un país, significa su prosperidad y dá la medida de su poder, inteligencia y previsión de sus gobernantes; de lo contrario, aún poseyendo esa riqueza, pero desconocida, permanecerá como una nación atrasada, pobre, que forzosamente tiene que depender de las demás, cuya industria ha sido cuidadosamente desarrollada.

Frecuentemente ocurre que una nación, por ejemplo los Estados Unidos, ya tiene acumuladas grandes reservas de determinada materia prima, como sucede en el caso del elemento a que corresponde esta Memoria. Sin embargo, la investigación de los criaderos poco conocidos y de aquellas zonas donde posiblemente se encuentren yacimientos de azufre, siguen siendo objeto de la atención, tanto de empresas particulares como de los gobiernos locales y federal, interesado siempre en el mejor conocimiento de la riqueza potencial de que depende parte de su industria y economía. Las reservas minerales acumuladas representan siempre, en casos de urgente necesidad, una fuente de riqueza muy considerable, siendo factor decisivo en conflictos armados como el que en la actualidad presenciamos. Hay ciertos minerales que en época normal se utilizan solamente en reducida escala, pero al sobrevenir circunstancias de emergencia alcanzan una demanda desmedida y precios altos, siendo entonces cuando todo el mundo se preocupa por obtener tales substancias en las mayores cantidades posibles, recurriendo a los países con amplias reservas, o bien dotados de tales materias primas, aunque no se tengan a la inmediata disposición, sino que sea indispensable extraerlas antes de poder ser exportadas.

Además de los aspectos antes mencionados, es particularmente interesante para nosotros considerar que al descubrirse, estudiarse debidamente y apreciar las posibilidades económicas de nuestras riquezas minerales, se debe interesar en su aprovechamiento principalmente al consumidor nacional; al industrial que necesita importar de fuera las mismas materias primas que se pueden obtener dentro del país, seguramente con mayores ventajas económicas tanto para él como para la nación. Frecuentemente descubrimientos de la índole ya mencionada abren nuevos campos industriales y son elementos de riqueza. La presente Memoria, que trata del azufre, se ha preparado con tales miras. Para hacer el más completo acopio de datos sobre el particular se ha consultado la muy extensa literatura que sobre el azufre existe, de la cual hemos tomado todo aquello que se ha considerado de interés para el propósito que se persigue. Así pues, es un resumen que se espera sea útil a quienes lo hayan de consultar. En cada caso, al tratar los diversos aspectos que ofrece la Memoria, se indica la fuente de información consultada, dando así el mérito correspondiente a cada autor, cuyas ideas e investigaciones han hecho posible este trabajo, al que agregamos en lo que se refiere a México, nuestra propia experiencia.

En el texto de este trabajo y al hacer la descripción de los diversos tipos de depósitos de azufre se hace referencia con especialidad a aquellos yacimientos que se han explorado muy cuidadosamente, y que por lo mismo pueden servir como base de comparación para clasificar algunos de los criaderos mexicanos.

HISTORIA

Seguramente que el azufre fué conocido por el hombre desde la más remota antigüedad. El, que desde su principio y aún hasta la fecha en muchos casos y en casi todos los pueblos ha sido adorador del fuego, al observar fenómenos volcánicos en muy diversas fases debe haber descubierto el azufre, elemento que por ciertas de sus propiedades indudablemente atrajo su atención. No existen noticias precisas de que el azufre haya sido usado antes de los chinos, pero según parece fué bien conocido por los antiguos pobladores de la India y de China; en el primero de esos países se le bautizó con el nombre

de sulvezi, del Sànscrito, y del que se derivó el que en la actualidad lleva, latino: sulphurium. Citas posteriores al azufre se encuentran en la Biblia, en la historia del antiguo Egipto, y también el poeta griego Homero habla de este elemento en sus escritos al reconocerle propiedades como desinfectante, escribiendo: "Traed azufre, el que cura los males, y traed también fuego para que pueda fumigar la estancia".

La propiedad del azufre de quemarse tan fácilmente y despedir un olor muy peculiar hizo que los antiguos adoradores paganos lo usaran en vez del incienso en sus ritos y festividades religiosas, de donde, al descubrirse otra de sus propiedades, comenzó a emplearse en la industria primitiva 2,000 años antes de J. C., cuando los egipcios lo utilizaron para decolorar telas. Cuatro siglos después los mismos egipcios usaron el azufre o algunos de sus compuestos para fabricar diversos pigmentos.

Siglos más tarde, los romanos lo consideraron como substancia farmacéutica y principiaron a conocerse mejor sus propiedades, las que se aplicaron, desde luego, a las necesidades bélicas de aquel pueblo guerrero, en tiempo de Julio César, empleándolo para producir cortinas de humo y gas sofocante, es decir, fué así como la guerra química nació.

En el transcurso del siglo XII, al descubrirse la pólvora, el azufre alcanzó gran importancia en los destinos de la humanidad. Por aquellas épocas de la Edad Media se encontró uno de los principales compuestos del azufre, cuando un alquimista llamado Gerber descubrió lo que llamaba "lavado de azufre", un líquido que por sus propiedades corresponde a nuestro ácido sulfúrico.

Por su propiedad de quemarse fácilmente y porque producía quemaduras dolorosas y atormentadoras, el azufre se ligó con la concepción que las pasadas generaciones tuvieron del infierno, el demonio y sus tormentos; muchos de los pueblos de la antigüedad creyeron que el azufre era el principio del fuego, seguramente al observarlo en los fenómenos posteriores a los paroxismos volcánicos que para ellos, por lo mismo extraordinarios, eran manifestaciones divinas del dios del fuego. Los germanos antiguos dieron al azufre el nombre de "brennestone", o piedra que se quema, de donde los pueblos de habla inglesa derivaron el de "brimstone", que hasta la fecha se usa.

Las investigaciones de la química moderna, iniciadas por el gran químico y sabio francés Lavoisier, estudiaron ya en forma científica el azufre, siendo él quien lo clasificó como uno de los elementos, lo que vino a destruir las ideas erróneas que hasta entonces se habían mantenido, como la de considerarlo en su composición, semejante a una resina.

Ya dentro de los últimos 150 años, las aplicaciones que se han descubierto para el azufre, muy variadas, han hecho que la historia de la producción de dicho elemento haya ido evolucionando en forma notable, hasta alcanzar cifras enormes que varían según las necesidades industriales descritas en páginas siguientes.

P R O P I E D A D E S

Las propiedades que tanto química como físicamente caracterizan al azufre son notables en muchos sentidos, puesto que dan lugar a la existencia de varias clases de azufre en la Naturaleza. Como resultaría una confusión al tratar de describir en conjunto las propiedades correspondientes a cada clase de azufre conocido, se ha optado por describir cada variedad, dando a continuación una descripción de sus características. Las propiedades correspondientes al azufre común y corriente, son las siguientes: color amarillo suigeneris por lo general, que a veces cambia debido a distintas impurezas, siendo entonces amarillo-verdoso, verde, plateado, crema y café amarillento; al rasparse el mineral nativo contra una placa de porcelana devitrificada deja una huella que en color varía del blanco al amarillo; lustre adamantino en las caras de los cristales, mientras que en otras formas de azufre se observa que el lustre es resinoso o grasoso. El crucero del mineral es imperfecto, pero paralelo a la base del prisma o la pirámide; fractura concoidea, quebradizo, dureza variable entre 1.5 y 2.5; gravedad específica comprendida entre 2.05 y 2.09. El azufre es mal conductor de la electricidad y del calor. Todas las variedades de azufre, con excepción de una, son insolubles en agua; el azufre común y corriente es

soluble en alcohol, éter y bisulfuro de carbono. El bisulfuro de carbono disuelve a 0° C 22 gramos de azufre.; a 20°C 41.8 gramos, y a 40°C., 100 gramos de azufre. Al evaporarse el disolvente el azufre principia a cristalizar. Esta clase de azufre se presenta cristalizado en forma de pirámides ortorrómbicas, pero es también frecuentemente encontrado en formas granular, terroso, macizo y aún estalactítico en ciertos criaderos. El azufre es un mineral relativamente suave, translúcido y a veces transparente. En ciertos casos se ha observado que este elemento al ser analizado contiene en forma de impurezas y en cantidades sumamente pequeñas: arsénico, teluro y selenio, así como en mayor proporción: arcilla y materias bituminosas.

El símbolo para el azufre es S, al que corresponde un peso atómico de 32.07; la molécula de azufre sólido se representa por el símbolo S_8 y tiene un peso molecular igual a 256.56. El peso molecular para el vapor de azufre, al que le corresponde el símbolo: S_2, es de 64.14 (vapor de azufre a los 1000°C).

El azufre ortorrómbico se funde a los 112.8° C., en tanto que el monoclínico lo hace a los 119.2° C. La temperatura de ebullición es a los 444.7° C., en tanto que el punto de ignición se alcanza a los 248° C.

El azufre ortorrómbico, como se ilustra en las siguientes figuras: No. 1 No. 2, es por lo regular de forma piramidal, pero frecuentemente exhibe truncamientos en las aristas y cúspides de las pirámides ortorrómbicas, lo cual da lugar a muchas modificaciones cristalinas. Se han encontrado unas treinta.

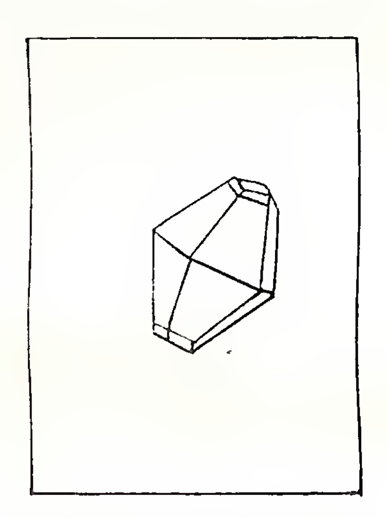


Fig. No 1.—Azufre ortorrómbico. Azufre α.

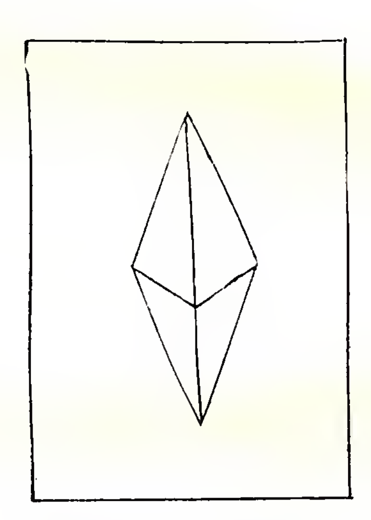


Fig. No. 2.—Azufre ortorrómbico.

Ya hemos descrito las propiedades que caracterizan al azufre ortorrómbico, cuyos cristales son bastante estables a la temperatura ordinaria. Esta clase de azufre se conoce por varios nombres: Azufre α, Azufre ortorrómbico, Azufre octaédrico y Azufre S_1 de Muthmann. En las flores de azufre del 60% al 70% está compuesto por azufre ortorrómbico.

De entre las propiedades químicas del azufre, es notable la facilidad y rapidez con que se une a otros elementos para formar substancias, produciendo generalmente reacciones exotérmicas, a veces violentas, como ocurren en el caso de los vapores de azufre pasados sobre cobre metálico. El azufre se oxida a los 100° C en presencia del oxígeno. También se observa que molido y en un ambiente húmedo, a la temperatura ordinaria se oxida produciéndose ácidos sulfuroso y sulfúrico, ambos frecuentemente encontrados en las flores de azufre.

Por lo que respecta a las demás variedades de azufre a que ya se ha hecho mención, J. W. Mellor (1) las ha arreglado en forma de un cuadro, que se inserta a continuación:

(1) J. W. Mellor — Modern Inorganic Chemistry, 1925, p.480, Longmans, Green and C.

VARIEDADES	SOLUBILIDAD CS_2	H_2O	G.E.	SINONIMOS
CRISTALINAS:				
Rómbico.	Soluble	Insoluble	2.04	Azufre octaedral Azufre α, y azufre S_1 de Muthmann.
Agujas monoclínicas.	Soluble	Insoluble	1.93	Azufre prismático, Azufre β, Azufre S_2 de Muthmann.
Monoclínico nacarado.	Soluble	Insoluble	. . .	Azufre nacarado, Azufre S_3 de Muthmann.
Monoclínico tabular.	Soluble	Insoluble	. . .	Azufre tabular, Azufre S_4 de Muthmann.
COLOIDAL:				
Amorfo	Soluble	Insoluble	. . .	
Amorfo	Insoluble	Insoluble	1.955	Azufre γ.
Soluble	Soluble	Soluble	. . .	Azufre δ,
FLUIDO:				
Azufre flúido λ.				Se solidifica como azufre soluble amorfo y cristalino.
Azufre flúido μ.				Se solidifica como azufre insoluble.

En el cuadro que antecede se nota que existen 3 clases de azufre monoclínico: el prismático, el nacarado y el de forma tabular, que se ilustran en las figuras Nos. 3, 4 y 5.

El azufre monoclínico prismático, o azufre β, que también se conoce como azufre S_2 de Muthmann, fué descubierto gracias a las investigaciones que en 1823 hizo E. Mitscherlich, al notar que el azufre fundido en una copela de porcelana cristalizaba en forma distinta a la del azufre común y corriente; pues al enfriarse se formaron cristales largos, prismáticos, de color amarillo ceroso, adheridos a las paredes del recipiente cuando su contenido fué vaciado.

Las propiedades que caracterizan al azufre monoclínico varían de las ya descritas para el ortorrómbico, pues su gravedad específica es de 1.93, punto de fusión: 19.2° C., y no a los 112.8° C., que corresponde al azufre rómbico. El azufre prismático es soluble en bisulfuro de carbono, cambiando rápidamente por la misma acción del disolvente, pasando a convertirse en azufre rómbico. La solubilidad del azufre monoclínico, en los mismos solventes del azufre rómbico, es de 1 a 3 veces mayor; los solventes son: benzina, cloroformo, éter y alcohol. El azufre prismático al cabo de unas 20 ó 24 horas se torna de un color amarillo pálido, casi opaco; se hace quebradizo y se desmorona con facilidad para convertirse en polvo si se toca, observándose que el producto, visto con microscopio, está constituído por azufre α, es decir, rómbico. Si esta última clase de azufre se mantiene durante algunas horas a temperaturas entre los 108° y los 112° C., pasa a la forma mono-

clínica en sus cristales. Así pues, la reacción es reversible. Los cristales monoclínicos de azufre son inestables a temperaturas inferiores a 94.5° C., pasando lentamente a cristales ortorrómbicos; el cambio puede, si se quiere, acelerarse ya sea mojando los cristales de azufre β con CS_2, o simplemente poniendo en contacto a las dos clases del azufre. Inversamente a lo que se ha dicho respecto a la inestabilidad del azufre β, el azufre α, es también inestable a temperaturas superiores a 94.5° C., pasando lentamente a convertirse en S_β. Los cambios que se efectúan pueden simbolizarse en la siguiente forma:

$$\underset{\text{rómbico}}{S} \underset{}{\overset{94.5^\circ}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{monoclínico}}{S}$$; también suele expresarse

$$S_\alpha \overset{94.5^\circ}{\rightleftharpoons} S_\beta$$ Así pues, la temperatura de transición entre ambos azufres es la de 94.5° C.

Así como los cambios de temperatura afectan a la molécula de azufre, los cambios de presión también tienen gran influencia sobre ella, determinando en mucho los cambios observados en formas cristalinas y propiedades, al pasar de una forma más densa a otra menos densa y viceversa.

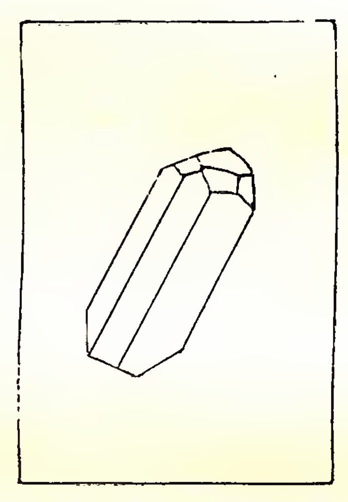


Fig. No. 3.—Azufre monoclínico. Azufre prismático β.

Azufre monoclínico nacarado.

Esta forma de azufre se obtiene del azufre rómbico si éste se funde, se vierte sobre un crisol y se deja enfriar gradualmente. En el laboratorio se ha logrado producir regulando la temperatura de enfriamento, una mezcla de ambos cristales. Si la temperatura se eleva, entonces se nota que a expensas de los cristales rómbicos se desarrollan los monoclínicos del azufre nacarado. Inversamente, si la temperatura se hace disminuir, entonces el azufre nacarado se principia a transformar en rómbico. Las propiedades características de esta clase de azufre son las mismas del monoclínico. La figura No. 4, representa a un cristal ideal de azufre nacarado.

Aunque Mitscherlich desde 1823 ya había estudiado esta clase de azufre, su nombre le fué dado después de las investigaciones que en 1884 hizo un francés: D. Gernez.

Azufre monoclínico tabular.

En 1890 W. Muthmann al estar preparando azufre nacarado, de una solución alcohólica saturada de sulfuro de sodio, observó que después de agregar un poco más de alcohol

a la solución ya filtrada, para obtener el azufre nacarado, y al dejarle en reposo por algún tiempo, que cuando la temperatura era de unos 5° C. se separaban cristalitos de azufre tabular, del sistema monoclínico, como el que se representa en la figura No. 5.

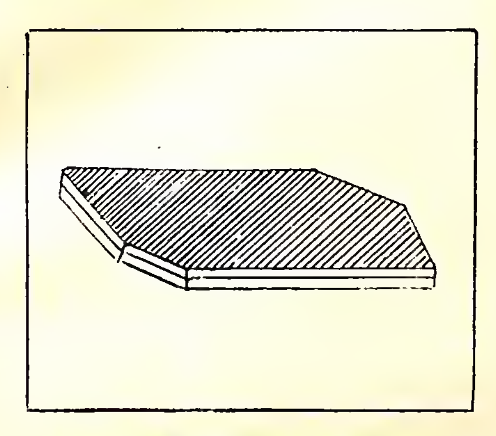




Fig. No. 4.—Azufre nacarado.

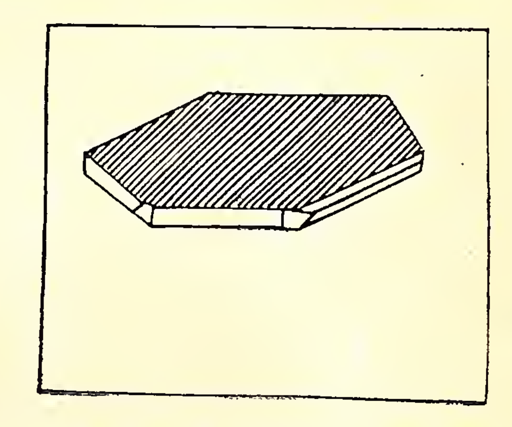


Fig. No. 5.—Azufre tabular.

Las propiedades de esta clase de azufre y las del monoclínico prismático, son iguales; la única diferencia se encuentra en los ángulos medidos en sus cristales, según se puede apreciar en caras similares; así por ejemplo, para caras iguales en las tres variedades de azufre monoclínico, se han obtenido los ángulos siguientes:

Monoclínico	84°14'
Monoclínico nacarado	88°13'
Monoclínico tabular	75°58'

Después de los trabajos de G. Friedel y R. Engel, en 1879 y 1891, quedó establecido el polimorfismo del azufre, pues además de las formas descritas, y aunque no son de ningún interés particular, se descubrieron las variedades de azufre triclínico, por el primer investigador, y el romboedral por Engel.

Azufre coloidal.

Además del azufre cristalino, cuyas formas se han descrito, se conoce el azufre amorfo, del cual se tienen 3 variedades, distintas entre sí por algunas de sus características, según lo ha expresado Mellor en su tabla comparativa, que puede consultarse en página anterior.

Esta clase de azufre al ser observado bajo el microscopio no muestra ni la menor traza de cristalinidad; se obtiene por precipitación pasando sulfuro de hidrógeno por una solución acuosa de dióxido de azufre a una temperatura de 0° C.

El azufre amorfo δ se prepara si se mezcla una solución saturada de tiosulfato de sodio con el doble de su volumen de ácido clorhídrico y después se enfría a 10° C.

Azufre flúido.

Además de los azufres cristalizados y amorfos, existe otra variedad: azufre flúido, del cual se han descubierto 2 formas: azufre flúido λ y azufre flúido μ, que solamente se diferencían porque el primero al solidificarse lo hace como azufre soluble ya sea amorfo o cristalino ,en tanto que el segundo al solidificarse se hace insoluble.

El azufre plástico o flúido no es otra cosa que azufre común y corriente en un estado metaestable, como consecuencia de un enfriamiento muy rápido, obtenido calentando azufre rómbico a 350° C. Este, una vez fundido, se vierte en agua fría, resultando una substancia elástica con gravedad específica de 1.95, es decir, casi igual a la del azufre

monoclínico, pero con la diferencia de que siendo plástico se puede modelar entre los dedos o estirarlo en forma de hebras.

Si el azufre plástico se deja a la intemperie por más o menos tiempo, principia a cristalizar. El cambio se puede acelerar simplemente calentándolo a 100° C.

Para completar lo anterior podríamos agregar, y en cierto modo por énfasis repetir: Ya indicamos que la obtención de estas sub-variedades de azufre es sencilla, y que solamente depende de las temperaturas a que se funda el azufre α, o rómbico. Efectivamente, si dicha operación se efectúa a baja temperatura y el líquido resultante: amarillo pálido, es enfriado rápidamente, se obtiene un producto cristalino casi totalmente soluble en disulfuro de carbono; se ha formado azufre λ. Si el azufre α se funde a mayor temperatura, entonces no se forma un producto de color amarillo claro, sino que es café oscuro, amorfo e insoluble en disulfuro de carbono: es el azufre μ.

Según parece, al elevarse la temperatura de fusión del azufre común y corriente para fabricar la variedad plástica, a determinado grado se obtiene un equilibrio: alrededor de 114.5° C. A dicha temperatura y rápidamente congelada la masa fundida, contiene, según ha sido investigado, la siguiente proporción de azufre: 3.7% de S_μ, y 49.3% de S_λ.

El azufre plástico ordinario contiene 99% de S_μ y sólo 1% de S_λ. Parece que a mayor temperatura la proporción de S_μ es mayor, y viceversa.

Por lo expuesto, y en general refiriéndose a la influencia que el calor y las variaciones de presión tienen sobre las diversas variedades de azufre para determinar los cambios tan notables que experimenta, dando origen a su polimorfismo, tales transformaciones han sido expresadas de la manera siguiente:

$$\underbrace{S_\alpha \overset{95.5^\circ}{\rightleftharpoons} S_\beta}_{\text{Sólido}} \overset{120^\circ}{\rightleftharpoons} \underbrace{S_\lambda \overset{160^\circ}{\rightleftharpoons} S_\mu}_{\text{Líquido}} \overset{444.5^\circ}{\rightleftharpoons} \underbrace{S_8 \overset{1000^\circ}{\rightleftharpoons} S_2}_{\text{Vapor}}$$

Se puede notar que el aumento de temperatura produce la disociación de la molécula de azufre, cosa que tiene gran interés al estudiar la génesis de ciertos tipos de sus criaderos, los que deben su existencia a acciones volcánicas en cualquiera de sus manifestaciones descritas posteriormente.

Han sido considerados, al tratar de las distintas fases polimórficas que presenta el azufre, los cambios originados por la elevación de temperatura hasta los 444.5° C. A 500° C el peso molecular del azufre, comparado con el aire: 1, es de casi 6.6, correspondiente a la molécula S_6.

A una temperatura de 1000° C el peso molecular es ya de 2.2, correspondiente a la molécula S_2, no alterándose la densidad del vapor, sino que permanece constante según se ha investigado, hasta la temperatura de 1700° C.; ya a los 2000° C la molécula S_2 se rompe en átomos de S. Por lo mismo, entre las temperaturas de 500° C y 2000° C se encuentran las formas de azufre S_8, S_6, S_4 y S_2. Así pues, el azufre es una substancia alotrópica, es decir, que existe en varias formas y con distintas propiedades pero sin que por ello el estado de la substancia cambie, esto es, unas formas de azufre son alotrópicas de las otras: "Modificaciones alotrópicas". En el caso del elemento que se describe su alotropía consiste, entre otras cosas, principalmente en sus diferencias de peso molecular, causadas por las proporciones variables de átomos de azufre en la constitución de su molécula. Lo anterior se traduce en metatropismo, o sea el arreglo no uniforme de los átomos al pasar a constituir moléculas. Por ejemplo, en el caso de la molécula S^8 cuya estructura cristalina interna, o disposición de los átomos, es distinta, da lugar a los azufres rómbico o alfa, y monoclínico o beta. Hipotéticamente el arreglo molecular correspondiente a tales azufres se ha representado como sigue:

$$\begin{matrix} S \equiv S - S \equiv S \\ | \qquad\qquad\quad | \\ S \equiv S - S \equiv S \end{matrix} \qquad\qquad \begin{matrix} S = S = S = S \\ \| \qquad\qquad\quad \| \\ S = S = S = S \end{matrix}$$

Azufre rómbico (α) **Azufre monoclínico (β)**

USOS

Dentro de las necesidades industriales del mundo actual, las aplicaciones que se han encontrado para el azufre o sus derivados son amplísimas. En el año de 1925 la producción mundial de azufre era absorbida por la industria de los diversos países de la siguiente manera:

1	— Fabricación de ácido sulfúrico:	52.0%
2	— Fabricación de dióxido de azufre:	25.0%
3	— En diversas aplicaciones agrícolas:	8.8%
4	— En la industria hulera:	8.3%
5	— En la manufactura de bisulfuro de carbono:	3.1%
6	— Aplicaciones diversas:	2.8%
	T o t a l:	100.00%

Según S. T. Brinkley (2) el consumo de azufre por las industrias de los Estados Unidos durante el año de 1926, expresado diagramáticamente, puede fácilmente apreciarse en la siguiente figura, donde por medio de círculos concéntricos y fracciones de los mismos,

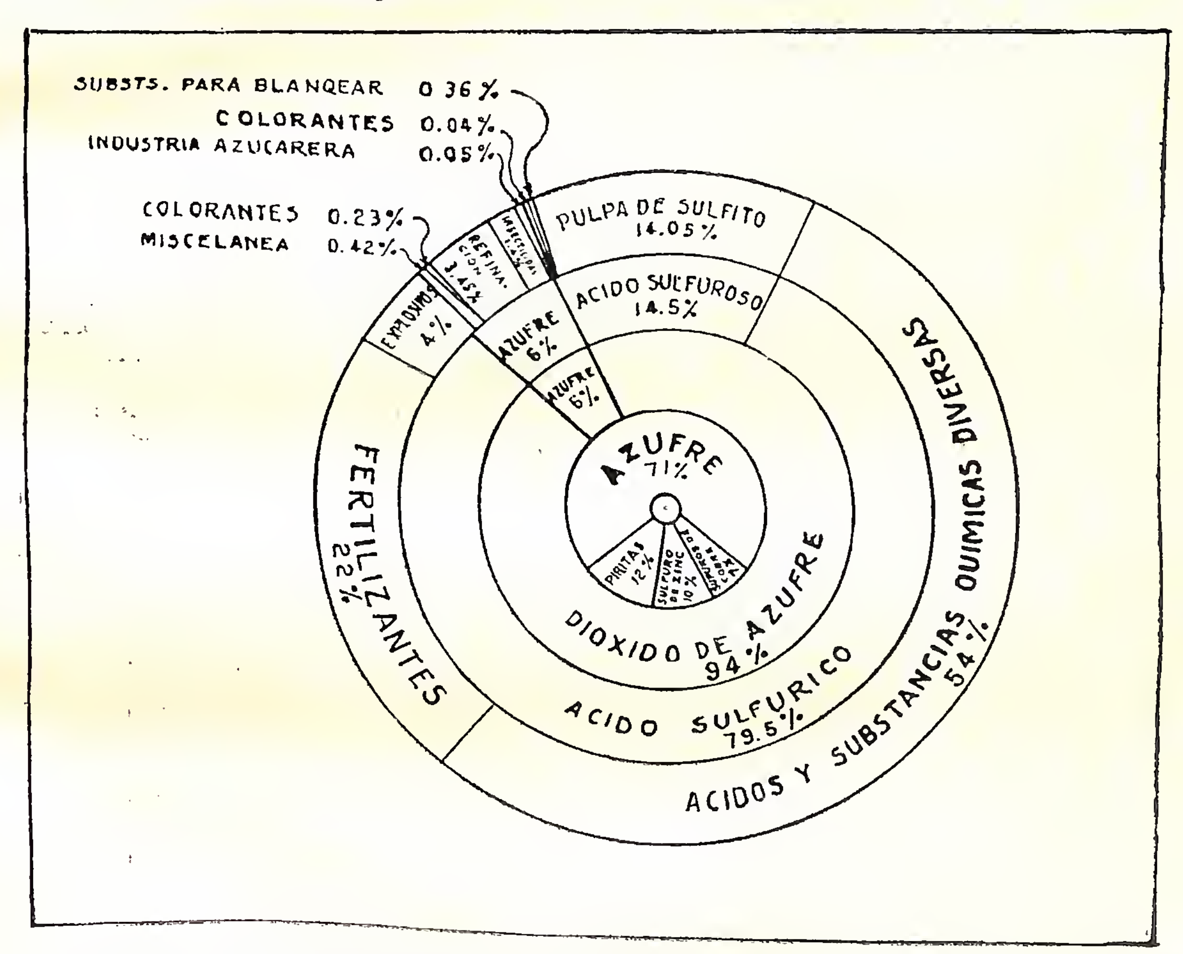


Fig. No. 6.—Diagrama de los porcentajes de azufre usados en las distintas industrias de los Estados Unidos, durante el año de 1926. Según S. T. Brinkley.

se ilustra la cantidad de azufre empleado en cada caso. Se nota desde luego que 71.0% del azufre empleado se obtuvo usando el producto natural, procedente principalmente de

---

(2) **S. T. Brinkley — Principles of General Chemistry, 1926, p. 305.**

los Estados de Texas y Louisiana, E. U. A., descritos en otra parte. El restante 29%, para completar 100%, se obtuvo como sigue: 12% del tratamiento de pirita; 10%, de las fundiciones que tratan minerales de zinc, y el faltante 7% provino del tratamiento de sulfuros de cobre. La mayor parte de este azufre: 94.0%, fué empleado en la elaboración de 2 productos: 14.5% se destinó a ácido sulfuroso, y 79.5% se convirtió en ácido sulfúrico. 6% se utilizó en forma de azufre nativo. Distribuyendo los porcentajes anteriores, se destinaron los ácidos elaborados y el azufre nativo a las siguientes industrias:

14.5%de ácido sulfuroso:

14.05 %: bisulfito de calcio, muy usado en la manufactura de papel, que sirve para convertir la madera en celulosa bastante pura;
0.36 %: decolorantes;
0.05 %: en la industria azucarera, y
0.04 %: en la manufactura de materias colorantes.

79.5% de ácido sulfúrico:

54.0 %: consumido en las industrias químicas, como ácidos, sales, etc.;
22.0 %: empleado en la fabricación de fertilizantes, principalmente como fosfato ácido, y
3.5 %: manufactura de explosivos.

6.0% de azufre nativo:

3.45 %: en diversas refinerías;
0.50 %: en fábricas de explosivos;
1.40 %: insecticidas;
0.23 %: manufactura de colorantes, y
0.42 %: fué empleado en diversas industrias.

Durante los últimos años la producción de azufre, principalmente elemental, ha experimentado un aumento muy considerable, especialmente notable al sobrevenir conflictos armados. A fin de estimar lo anterior bastará con juzgar la producción de ácido sulfúrico entre 1935 y 1939, que es sin duda la de mayor consideración alcanzada en cualquiera época de la historia, como puede verse en el cuadro siguiente, que corresponde exclusivamente al ácido sulfúrico obtenido en los Estados Unidos. En dicho cuadro, que aparece en el Mineral Year Book de 1940, p, 1292., se consigna, asímismo, la distribución que en aquel país se le dió y que fué consumido por las industrias que para su desarrollo lo emplean.

Consumo de ácido sulfúrico (50° B), en diversas industrias de los Estados Unidos, cantidades en toneladas.

INDUSTRIAS	1935	1936	1937	1938	1939
Fertilizantes	1.720,000	1.987,000	2.230,000	1.920,000	2.100,000
Refinación del petróleo	980,000	1.100,000	1.100,000	1.100,000	1.210,000
Ind. químicas ...	940,000	955,000	1.020,000	800,000	975,000
Productos de carbón	625,000	770,000	865,000	585,000	740,000
Industria siderúrgica	630,000	770,000	1.100,000	590,000	980,000
Otros usos metalúrgicos	520,000	560,000	625,000	350,000	570,000
Pinturas y pigmentos	400,000	450,000	525,000	430,000	500,000
Explosivos	175,000	222,000	180,000	140,000	190,000
Artisela, películas de celulosa	303,000	330,000	380,000	318,000	400,000
Industria textil ...	90,000	108,000	112,000	90,000	116,000
Misceláneas	342,000	380,000	450,000	355,000	400,000
Totales:	6.725,000	7.632,000	8.587,000	6.678,000	8.181,000

Los datos completos sobre el aprovechamiento de azufre en las industrias europeas, asiáticas o de otras partes, son incompletos; pero de cualquiera manera los datos anteriores son bastante elocuentes para poder apreciar la importancia de tal elemento en la vida industrial del mundo.

Finalmente, haciendo un poco más explicativo el diagrama de los usos del azufre y sus principales compuestos, diremos que gran parte de ellos se emplean como sigue: en las industrias químicas, principalmente en la manufactura de bisulfuro de carbono, dióxido de azufre, pigmentos, hiposulfitos y tiosulfato. En la industria hulera: para vulcanizar; en la manufactura de cementos a prueba de ácidos, mezclando 40% de azufre y 60% de arena; se emplea en la industria que fabrica material aislador del calor y la electricidad, en la medicina, como galvanizador del fierro, refinación del benzol, fabricación de baterías eléctricas, como agente refrigerador (SO_2), fumigante, para blanquear o desteñir, en pirotécnica, como fungicida, etc., etc.

MINERALOGIA

El azufre, que es un metaloide, forma al combinarse con otros elementos un número considerable de minerales; siendo muy activo en sus reacciones químicas se combina con metales como plata, cobre, zinc, plomo, fierro, etc., dando lugar a la serie de minerales llamados sulfuros, tan importantes y necesarios en el desarrollo industrial puesto que es de ellos de donde principalmente se obtienen los metales.

El azufre no sólo se encuentra en estado elemental, o como sulfuros simples: galena, PbS; pirita, FeS_2; blenda, ZnS; argentita, Ag_2S, etc., sino que forma gran número de sulfuros complexos al combinarse con los metales, según ocurre en minerales como los siguientes: pirargirita: $3Ag_2S.Sb_2S_3$; bournonita: $3(Pb,Cu_2)S.Sb_2S_3$; tetraedrita: $4Cu_2S.Sb_2S_3$; nagyagita: $Au_2Pb_{14}Sb_3Te_7S_{17}$ (?) franckeita: $5PbS.2SnS_2.Sb_2S_3$, etc. Además, es frecuente encontrar entre los diversos minerales de azufre a aquellos que pertenecen a los sulfatos, donde dicho elemento forma parte de la radical que constituye compuestos como en los siguientes: wattevillita: $CaSO_4.Na_2SO_4.4H_2O$; polihalita: $2CaSO_4.MgSO4.K_2SO_4.2H_2O$; o como en la ettringita: $(Ca.OH)_6(SO4)_3.2Al(OH)_3.24H_2O$(?), que vienen a ser sulfatos complexos.

Entre los sulfatos simples se tienen: yeso: $CaSO4.2H_2O$; anhidrita, CaSO4; celestita, SrSO4; barita, BaSO4, etc.

Finalmente, y aunque muy poco comunes, el azufre forma óxidos como la melanoflogita: $SiO_2.SO_3.H_2O$, o como la sulfuricina: SiO_2, SO_3, S, H_2O. Es también muy rara la especie mineralógica llamada selenio-azufre, donde ambos elementos se presentan simultáneamente, pero sin formar una combinación.

MINERALES EXPLOTABLES

Fuera del azufre nativo son bien pocos los minerales que se aprovechan para recuperar su contenido de azufre por medio de los procesos metalúrgicos a que se someten, ya sea como objeto principal de los trabajos, o bien como un subproducto. Dichos minerales son generalmente los sulfuros simples: pirita, principalmente, así como también galena, calcopirita, blenda, etc., y más raramente de los sulfuros complejos. Frecuentemente en las plantas metalúrgicas que tratan concentrados de sulfuros metálicos se producen apreciables tonelajes de azufre, recuperado durante los procesos de tratamiento, como producto secundario, según se describe posteriormente.

CRIADEROS DE AZUFRE

Características generales.

De acuerdo con su origen los yacimientos de azufre en la Naturaleza se pueden agrupar en cuatro clases, que entre sí difieren grandemente tanto en sus características como en la riqueza potencial que cada uno representa.

En primer término deben ser considerados, por su gran valor económico, los yacimientos en rocas sedimentarias, que proporcionan la inmensa mayoría del tonelaje que se produce, principalmente en este continente. En segundo lugar vienen los criaderos de origen volcánico; en tercero quedan aquellos donde el azufre se encuentra en combinación, en forma de vetas conteniendo sulfuros, o bien con otras modalidades morfológicas. Finalmente, y aunque sin ninguna importancia comercial, podría citarse también al azufre orgánico que se encuentra tanto en vegetales como en cuerpos animales: cebolla, ajo, rábano, diversos aceites vegetales, etc., o en alimentos como los huevos. En los proteidos el azufre es parte integrante de su composición; también se encuentra en el cabello.

Los fenómenos de oxidación de sulfuros metálicos, principalmente de la pirita de fierro, da a veces lugar, aunque no con frecuencia, a pequeñas cantidades de azufre, pero no se forman criaderos de importancia económica para su aprovechamiento industrial. En tales casos el mineral se encuentra en costras o acumulaciones que por lo regular cubren las paredes de las cavidades o huecos dejados por la solución del sulfuro de fierro. Lo anterior, ya hemos indicado, es un fenómeno sin importancia por lo que respecta a la formación de yacimientos comerciales; no así al tratarse del azufre debido a agentes orgánicos, o a procesos de sublimación, de reducción y oxidación. Dados los muy distintos orígenes de los depósitos de azufre, el mineral se presenta en asociación con rocas ígneas extrusivas: basaltos y andesitas principalmente, o bien con cenizas, en los cráteres volcánicos; también aparece en conexión con formaciones de origen exclusivamente sedimentario: yeso y calizas. Hay, de igual manera, yacimientos que se asocian con tufas y travertina en los "geysers" y manantiales azufrosos que no son sino los vestigios de pasadas actividades volcánicas o donde tales fenómenos aún se manifiestan con cierta actividad, indicando estados aún latentes.

Las solfateras donde el azufre se encuentra con más o menos abundancia se localizan en regiones volcánicas cuya actividad ha cesado recientemente, escapándose a través de dichos aparatos los productos finales del volcanismo, tales como entre otros: sulfuro de hidrógeno, que por oxidación deja en libertad al azufre, acumulándolo en las paredes o huecos de la roca, impregnándola. Esta clase de depósitos son, por rareza, de interés comercial, no obstante su abundancia en todas las zonas volcánicas Terciarias. El único criadero de este tipo que es de gran valor para su explotación, se localiza en Japón; está formado en lagos cráteres y paredes de volcanes extintos.

Hasta no hace mucho se creyó que el origen de tales criaderos era debido a que al mismo tiempo que se escapaba sulfuro de hidrógeno, emanaba dióxido de azufre, y que al salir por el cráter del volcán reaccionaban dejando azufre libre. Sin embargo, y de acuerdo con las investigaciones practicadas por Brun, no es posible tal cosa.

En las investigaciones vulcanológicas hechas en Java, y en el Pico de Teyde de las Islas Canarias, etc., se ha notado que el azufre se encuentra como un polvo submicroscópico y en conexión con dióxido de carbono. De tales productos, al ser pasados por agua a temperaturas menores de 100° C se condensa azufre y forma la llamada "leche de azufre"; en cambio, si en los vapores que emanan hay algo de agua, el azufre cristaliza a temperaturas observadas entre los 100° C y 110° C., alojándose en los resquicios de las rocas, hasta rellenarlos. En aquellos aparatos volcánicos se ha observado también que el azufre, al elevarse la temperatura entre los 192° C y 270° C., se funde y principia a fluir por las rocas, entrando poco después en ignición.

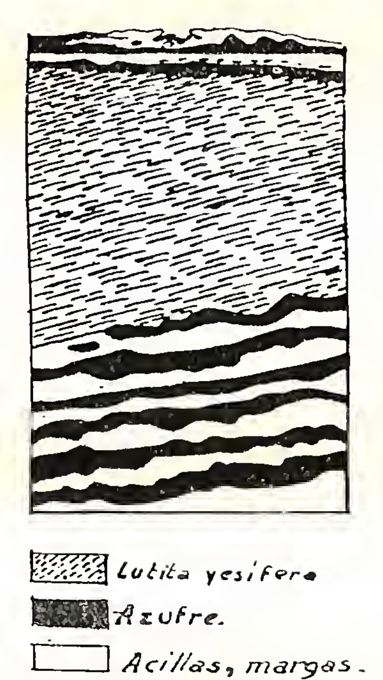
Al referirnos a los tipos de criaderos de azufre, describiendo en detalle los mejor conocidos, se tratará con mayor amplitud del azufre volcánico, que no obstante ser muy común, no constituye, en tales casos, yacimientos verdaderamente importantes.

Los llamados "depósitos sedimentarios de azufre" son, desde el punto de vista de su aprovechamiento, los de mayor interés. Se observa que en todas las regiones donde se han encontrado, tanto en este continente como en Europa y otras partes, que se asocian invariablemente con yeso, calizas, arcillas, margas y frecuentemente con substancias bituminosas. Estas formaciones, dadas sus características, deben haberse depositado en aguas poco profundas y en una época geológica no distante: durante el Mioceno Superior, según lo demuestran su sucesión estratigráfica y la fauna fósil en ellas encontrada.

En general se cree que las materias bituminosas ejercen una acción sobre el yeso, haciendo que posiblemente el sulfato de calcio se transforme en sulfuro de calcio, el cual,

por la acción del dióxido de carbono, rinde azufre libre, carbonato de calcio y ácido sulfhídrico. Las reacciones que se han enumerado no tienen, sin embargo, una aceptación universalmente reconocida por todos los investigadores de esta clase de yacimientos de azufre, pues en concepto de algunos no se encuentra debidamente explicada en todas sus fases la génesis de los criaderos asociados con yeso, a los cuales pertenecen depósitos tan importantes como los de Sicilia, Romagna, Marches y Calabria, en Italia, y los Radoboj, Croacia, Swoszowice, Galicia, Kokoschütz, Silesia, etc., en otras partes de Europa; en América los depósitos del "tipo sedimentario" se encuentran de preferencia en Texas y Louisiana en los Estados Unidos, y en el Istmo de Tehuantepec en México. El origen de estos depósitos se discute con posterioridad.

Se ha dicho que en los yacimientos donde el azufre se asocia al yeso, y donde el mineral ha sido producido por la oxidación del sulfhídrico, que éste puede haberse derivado de la descomposición de la materia orgánica contenida en las mismas formaciones sedimentarias, o bien por la reducción de los sulfatos minerales al actuar sobre ellos las substancias orgánicas ya sea al efectuarse los procesos de sedimentación, o posteriormente a ellos.



Lutita yesifera

Azufre.

Acillas, margas.

Fig. No. 7 —**Estructura estratificada** del mineral de **azufre en** los criaderos de **Swozowice, Galicia, según Ambroz.**

Yacimientos tan importantes como los de Texas y Louisiana, en Estados Unidos, los italianos de Sicilia y los de Tehuantepec en México, son, de acuerdo con las investigaciones efectuadas, derivados de las formaciones sedimentarias donde quedan contenidos; en ciertos casos se han estimado como singenéticos, esto es, formados durante la época de sedimentación, cuando las capas estratificadas se iban depositando. La contemporaneidad de origen entre las rocas y el mineral, queda, según algunos, claramente expuesta en las minas de Galicia y Sicilia, donde se han explotado los criaderos mediante obras subterráneas, lo que permite observar la relación entre las formaciones y el azufre, notándose, como se ilustra en la Fig. No. 7, que se alternan e interlaminan. Además, en otras minas de Sicilia, como en la de Gessolugo Trigona, en Cattanissetta, es evidente la contemporaneidad geológica de formación entre las rocas y las capas de azufre, al que se le fija un origen exclusivamente sedimentario. Efectivamente, en algunas minas de Cattanisseta se ha establecido lo anterior al hacer el estudio de las inconformidades que presentan los horizontes de yeso, entre los que se intercalan las capas de mineral. Se nota con toda claridad que no existen, como se ilustra en la siguiente figura, huellas de reemplazamiento metasomático entre las estratificaciones de yeso, y sí, en cambio, hay inconformidad entre ambos, debido a agentes erosivos.

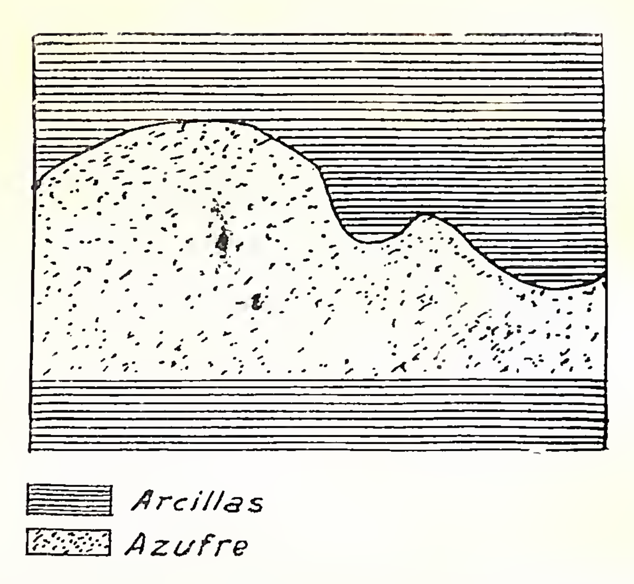


Fig. No. 8.—**Relaciones entre las capas arcillosas y los mantos de azufre en la mina Gessolungo, Trigona, Caltanissetta, Sicilia, según W. C. Phalen.—Nótese la inconformidad de las formaciones.**

Según O. Stutzer (3) los yacimientos de sulfato de calcio, en la forma de yeso, es posible que sufran durante su descomposición para la generación de ácido sulfhídrico las siguientes reacciones, si el agente reductor es el carbón contenido en la materia orgánica, encontrada en el yeso, según se explicó con anterioridad.

$$Ca\,SO_4 + 2C = CaS + 2CO_2 \quad (1)$$
$$CaS + H_2O + CO_2 = H_2S + CaCO_3 \quad (2)$$

La generación de sulfuro de hidrógeno, según el mismo investigador, se produce en las formaciones de yeso donde se localizan criaderos de azufre si el agente reductor es metano, de acuerdo con la siguiente reacción:

$$CH_4 + CaSO_4 = Ca\,CO_3 + H_2S + H_2O$$

Ahora bien, una vez generado el sulfuro de hidrógeno por cualquiera de los procesos ya indicados, dicho gas, por oxidación, deposita azufre nativo. En la reducción del sulfato de calcio, tanto en el caso del carbón como del metano, dichas substancias pueden derivarse de organismos que vivieron durante la época de sedimentación, o bien proceder de mayores profundidades en la forma de gases que se escapan a través de las formaciones sedimentarias de yeso. Los gases pueden originarse en fuentes muy diversas, pero sobre todo de la descomposición de mantos carboníferos depositados bajo las capas o masas de yeso, tal y como se ha podido comprobar y observar directamente en los yacimientos de azufre de la Alta Silesia.

La formación de sulfuro de hidrógeno para formar posteriormente criaderos de azufre, se debe también, y en gran escala, como lo descubrieron y probaron Murray e Irvine (4), a agentes orgánicos vivientes llamados bacterias del azufre. Esos micro-organismos, según los investigadores ya citados, en la generación de sulfhídrico provocan las reacciones siguientes, debidas a la acción del contenido de carbón en el protoplasma de los microbios, reduciendo sulfatos:

$$MSO_4 + 2C = 2CO_2 + MS \quad (1)$$
$$MS + CO_2 + H_2O = H_2S + MCO_3 \quad (2)$$

(3) O. Stutzer. Ec. Geol. Vol. 7, 1912, pp. 732-743.
(4) Transact. of the Royal Soc. of Edinburgh, 1893, Vol. 37, pág. 496.

A través del desarrollo continuo de tal proceso ha sido comprobado que en determinados mares y lagos se han acumulado grandes cantidades de sulfuro de hidrógeno; tal es el caso encontrado al hacer los sondeos de cuerpos de agua salada como los del lago salado de Wiessowo, en Charkow, Rusia, donde Nadson encontró las siguientes cantidades de H_2S, a las profundidades indicadas en la tabla adjunta, consignada por Stutzer en su trabajo sobre azufre.

Profundidades		C. c. m. H_2S
16	metros	5.91
18.1	"	88.31
18.7	"	184.96

En los trabajos que Lebedinzeff (5) llevó a cabo en el Mar Negro, sondeando y posteriormente haciendo los análisis respectivos de muestras tomadas, encontró que el sulfuro de hidrógeno se encuentra allí en las siguientes proporciones, a las profundidades que se indican en la tabla siguente:

Profundidades		C. c. m. H_2S
213	metros	0.33
427	"	2.22
2026	"	5.55
2528	"	6.55

Se puede claramente notar que la proporción de sulfuro de hidrogeno entre las aguas tomadas a 213 metros de profundidad y las obtenidas a 2528 metros, es casi 20 veces mayor en éstas, lo cual ha sido explicado como un resultado producido por la acción de bacterias anaeróbicas actuando sobre sulfatos disueltos en las aguas del Mar Negro.

Bacterias del azufre.

El sulfuro de hidrógeno, que para organismos superiores es venenoso, es el elemento de vida para ciertos micro-organismos: Beggiatoa Alba y Chromatium Okeini, que mediante procesos de oxidación obtienen de él el calor y la energía indispensables para subsisitr. Este proceso es parecido al que se efectúa en la vida de las plantas y los animales para derivar la energía que no es indispensable para poder subsistir, mediante la oxidación del carbón.

Las bacterias de azufre al oxidar al sulfuro de hidrógeno parece ser que primeramente lo convierten en ácido sulfúrico, como un paso intermedio, antes de producir el azufre libre que se acumula en sus celdillas para después secretarlo en forma de gotitas en su protoplasma. Se estima que aproximadamente el 25% del cuerpo de estos animalitos está integrado por azufre. Windogradsky (6), a través de sus interesantes trabajos sobre la secreción de azufre producida por las bacterias ya citadas, fué el primero en establecer de una manera firme el hecho ya descrito, habiendo observado, además, que las secreciones son aceitosas y en forma de globulitos, que al morir la celdilla donde se han acumulado se convierte en azufre cristalino. Según Windogradsky, 90% de las celdillas es azufre. Por los trabajos realizados, parece que las bacterias también toman determinada cantidad de carbonatos; no son necesarios para su vida, pero les sirven para neutralizar el ácido sulfúrico producido en el proceso de oxidación. Si a las bacterias de azufre se les priva del sulfuro de hidrógeno, entonces principian a oxidar su propia secreción de azufre, lo cual hacen en uno o dos días, muriendo después de ese tiempo.

Se ha encontrado que las bacterias productoras de azufre abundan en la Naturaleza: en muchos manantiales azufrosos y en los lodos de casi todas las aguas donde se genera ácido sulfhídrico, derivado de la descomposición de materia orgánica, (albuminoides) o bien como un producto de la reducción de sulfatos.

---

(5) Lebedinzeff.—Travaux de la Soc. des Naturalistes a Odesa. Vol. 16, 1891.
(6) Botanische Zeit Jahrgang 45, Nr. 31-37, 1887.

Jegnnow, Sidorenko y Sokolow (7) hicieron al principio de este siglo importantes estudios relacionados con la producción de azufre por microorganismos.

Además de la Beggiatoa Alba y del Chromatium Okeini, ya mencionados, a las que corresponden las siguientes figuras, se ha identificado otra bacteria productora de azufre, conocida como tiobacteria, que en la generación del azufre elemental no lo hace como las anteriores: oxidando sulfuro de hidrógeno, sino que ésta oxida tiosulfatos para producir ácido sulfúrico, de donde deriva la energía que le es indispensable para vivir, secretando entonces el azufre. Los investigadores que han estudiado a esta clase de microorganismos creen que a través del tiempo y por la acumulación del azufre secretado, han llegado a formar algunos criaderos de más o menos importancia para su aprovechamiento comercial.

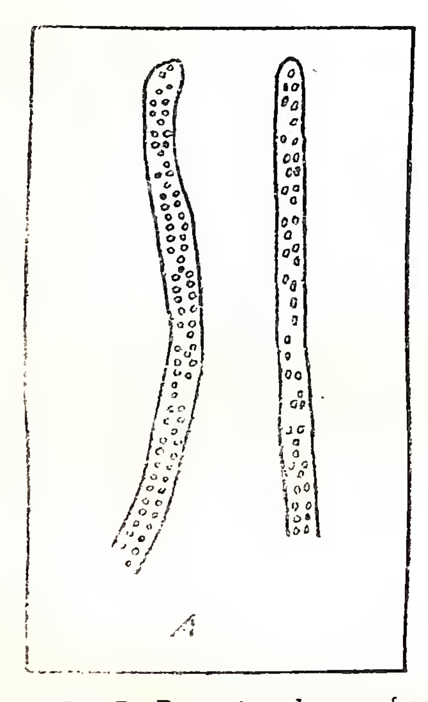


Fig. No. 9.—A Bacteria de azufre: Beegiatoa Alba. Según Windograndsky. (Muy amplificada).

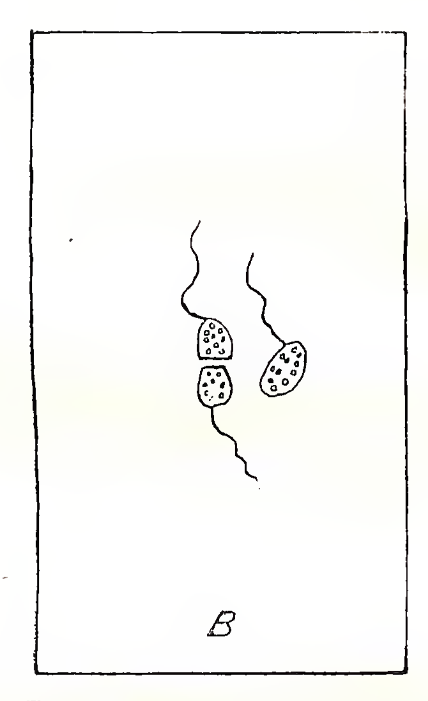


Fig. No. 10.—B Bacteria de azufre: Chromotium Okeini. Según Cohn (Muy amplificada).

Criaderos de azufre.

Los yacimientos de azufre, según su origen, ya sea ígneo o sedimentario se pueden separar de acuerdo con la forma que cada tipo presenta, variando grandemente en potencialidad al comparar los formados por agentes volcánicos y los que se asocian con rocas sedimentarias.

Tanto unos como otros se encuentran abundantemente representados en muchas regiones de la Tierra y para su consideración en esta Memoria, se describirá, en cada caso, un depósito típico.

Tipo volcánico.

Los llamados criaderos de "tipo volcánico" más comunes se encuentran afectando diversas formas: venillas, concrecionados, como impregnaciones, en forma de costras, o bien como un residuo sin forma en manantiales azufrosos. En la siguiente figura se ilustra la localización aproximada de los lugares donde se encuentran los depósitos de origen

(7) Abst. Neues Jahrbuch fur Min., Geol. und Pal. Stuttgart, 1900, S. 225.

volcánico en la Tierra, pudiendo, notarse, desde luego, que estos yacimientos coinciden con las zonas donde la actividad volcánica se ha manifestado en épocas muy recientes, o donde aun existen aparatos volcánicos en actividad, es decir, a lo largo del litoral del Océano Pacífico en el continente americano, desde la Tierra de Fuego en la América del Sur, hasta Alaska, de donde pasa a Asia siguiendo la cadena de las islas Aleutianas hasta llegar al Japón, descendiendo a Oceanía, donde, aproximadamente y coincidiendo con la zona volcánica de Krakatoa se liga a otra línea donde las erupciones volcánicas han abundado . Dicha zona viene del sureste, desde Nueva Zelandia, y pasa por el sur del continente asiático para continuar con dirección a Europa.

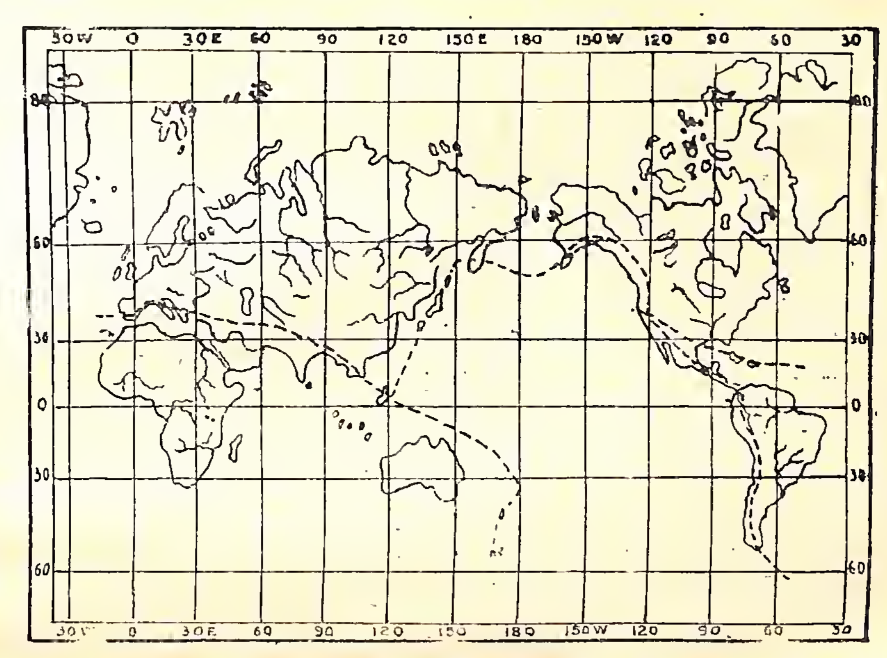


Fig. No. 11.—**Distribución mundial de los criaderos de azufre del tipo volcánico.**

Venillas.—Esta forma de criaderos de azufre es rara y nunca forma depósitos de importancia económica para su aprovechamiento industrial. Regularmente, y aunque en algunas partes se les ha llamado "vetas" de azufre, la potencia de éstas no amerita tal designación puesto que en realidad solamente se trata de meras vetillas o hilos, de forma tabular y angostos, que alcanzan escasa profundidad. Deben su origen a las emanaciones de sulfuro de hidrógeno que al escapar a través de grietas y al ser oxidado en su camino hacia la superficie, deposita azufre nativo en los planos de fractura de las rocas por donde se escapa.

En algunos casos como en Gik-Salgan, en el Cáucaso, Rusia, las vetas de azufre allí encontradas deben su origen no a emanaciones secas de sulfuro de hidrógeno, sino a manantiales azufrosos cuyas aguas, ricas en azufre, contenido generalmente en forma de H_2S, lo depositan en los canales de su circulación para constituír las "vetas" de azufre.

Aquí en México, en los yacimientos de azufre de la Sierra de Banderas, se encuentran vetillas y vetas, a veces de importancia comercial.

Depósitos solfatarianos, impregnaciones.—Ya con anterioridad se hizo referencia a la distribución de los criaderos de azufre de origen volcánico, o conectados con fenómenos post-volcánicos, habiendo también dicho que éstos se encuentran muy ampliamente distribuídos en muchas partes de la Tierra, siguiendo líneas determinadas donde las actividades volcánicas en el pasado o en la actualidad, han tenido manifestaciones a veces muy considerables, y en ocasiones de importancia muy secundaria.

La clase o tipo de yacimientos azufrosos que en seguida describimos, muy ampliamente representados entre los criaderos con que contamos en México, se presentan bajo una variedad de modos de formación más o menos notable e interesante, según han sido las circunstancias que mediaron durante la deposición del azufre; así por ejemplo, desde

luego difieren en características los que deben su origen a solfataras, de aquellos que se formaron por la acción de manantiales de aguas termales azufrosas. Antes de hacer la descripción general de este tipo de depósitos se estima conveniente hacer la siguiente división:

a — Recubriendo parcialmente las paredes de los cráteres volcánicos a través de los cuales se escapan las fumarolas;

b — Impregnación de las rocas y relleno de oquedades existentes en las lavas a través de las cuales escapan los gases de las fumarolas, y

c — Vetillas alojadas en pequeñas grietas, mencionadas ya al haber tratado dicha característica desde el punto de vista exclusivamente morfológico.

Frecuentemente se observa en los cráteres volcánicos, especialmente en aquellos que se encuentran en los últimos vestigios de su actividad, que los gases escapados de ellos, de sus alrededores o de las laderas del cono y conos adventicios en caso de haberlos, que se encuentran fuertemente cargados no de H_2S, sino de vapores de azufre que al condensarse dejan en las rocas cristales ortorrómbicos, amarillos. Así pues, el azufre depositado en esos casos es un producto de sublimación que recubre las paredes de las rocas volcánicas, formando impregnaciones y aún pequeñas vetillas en las que el azufre elemental es de gran pureza, aunque salvo en muy raras ocasiones es de valor económico, siendo casi siempre inexplotables por localizarse en lugares poco accesibles para su aprovechamiento, como acontece en el Popocatepetl, en México.

Sin embargo, no parece que el modo de formación descrito en el párrafo anterior sea el que por lo regular dé origen a este tipo de yacimientos, pues generalmente deben su existencia a la oxidación incompleta del ácido sulfhídrico que se escapa en las fumarolas o solfataras, como vestigio de actividades volcánicas o de masas de rocas ígneas aún semi-flúidas, pero sepultadas bajo otras formaciones a través de las cuales escapa. La formación del azufre por la oxidación del H_2S emanado de aparatos volcánicos se ha representado por las fórmulas siguientes, que expresan las reacciones químicas entre el sulfhídrico y el dióxido de azufre, de donde resulta agua y azufre elemental.

$$SO_2 + 2H_2S = 2H_2O + 3S \qquad (1)$$

Ahora bien, si la oxidación del sulfuro de hidrógeno es incompleta, entonces se obtienen los mismos resultados:

$$2H_2S + O_2 = 2H_2O + 2S \qquad (2)$$

El depósito de azufre de Sunlight Basin, E. U. A., es típico entre los de la clase que se describe, habiendo sido estudiado por D. F. Hewett (8). Dichos criaderos se localizan a 48 kilómetros al NW. de la población de Cody, y sólo a 21 kilómetros del lindero oriental de Yellowstone National Park.

Las formaciones geológicas de la región están constituidas por rocas ígneas, principalmente, así como por calizas paleozoicas: del Devónico y Mississípico, muy plegadas. Las formaciones no sedimentarias corresponden a erupciones andesíticas de edad Terciaria, siguiéndoles, en su orden de antigüedad: acumulaciones de brechas y tobas, basaltos de color verde oscuro y generalmente vesiculares, con huecos hasta de 12 centímetros de diámetro, rellenos con zeolitas, principalmente thomsonita, heulandita y analcita, encontrándose stilbita en las grietas de la roca. Finalmente y aunque perteneciendo a edades geológicas distintas, el área se encuentra atravesada por diques que cortan las lavas tanto andesíticas como basálticas. Esos diques, con potencias desde 0.60 mts. y hasta poco más de 1.5 metros, y con 1 kilómetro de largo, son de andesita, los más antiguos, y basálticos los más recientes.

Los depósitos de azufre, en número de 6, ocupan una amplia extensión y quedan alineados de NW. a SE, localizándose en una zona de fracturas intrincadas; el azufre se encuentra como material de cementación que une fragmentos de la roca en la zona frac-

(8) D. F. Hewett. United States Geological. Survey, Bull, 530 1913, pp. 350-362.

turada, o bien aparece como incrustaciones en las fracturas irregulares de las lavas, observándose que por su estructura, la primera forma representa la última deposición de azufre, pues cubre a la segunda, donde el mineral es de un color amarillo limón, con infinidad de pequeños cristales en las porciones superficiales. Debido a impurezas, en ciertas partes ha sido encontrado un azufre de color amarillo verdoso.

De estos criaderos se ha obtenido carga hasta con el 60% de azufre, estimándose que aproximadamente 10% de la capa que en ocasiones cubre a los yacimientos, es de azufre. El olor del sulfuro de hidrógeno se percibe con intensidad en las excavaciones que se han abierto, encontrándose que existe poco yeso; en cambio, en todas las catas se encuentra alumbre y sulfato ferroso. El H_2S se escapa a través de todas las fracturas, siendo esto más abundante en ciertos casos; el sulfuro de hidrógeno contiene una fuerte proporción de CO_2. La temperatura de esos gases es de 29° C., alcanzando en algunos lugares hasta 35° C.

Las rocas ígneas, en derrames, no muestran evidencias de estar conectadas con cráteres volcánicos. No hay relación aparente de origen entre los yacimientos de azufre y diques andesíticos y basálticos; según parece, el mineral debe su existencia a los gases ya mencionados, secos, que escapan. Al investigar la génesis de estos criaderos se nota la ausencia de travertino, tufa o cualquiera otra evidencia de que sean un producto dejado por manantiales hidrotermales.

La mayor parte del tonelaje de azufre explotable se encuentra en la capa o manto superficial, lo cual hace creer que el mineral se ha formado al descomponerse el sulfuro de hidrógeno que escapa por las fracturas, efectuándose la bien conocida reacción entre dicho gas y el oxígeno, ya discutida. Por lo mismo, se debe aceptar que las acumulaciones de azufre muy puro, localizadas en las grietas, son debidas a procesos de oxidación más completos, sufridos por el H_2S.

Se cree que las fracturas de escape corresponden a "chimeneas", y que los alumbres y el escaso yeso encontrado se deben a la combinación del ácido sulfúrico producido al efectuarse la oxidación incompleta del H_2S y elementos tales como calcio y fierro, existentes en las formaciones de la zona.

De los estudios practicados en los depósitos de azufre de Sunlight Basin, Wyo., se ha llegado a la conclusión de que son de origen muy reciente, tal vez de edad post-Glacial. Como evidencia, D. F. Hewett (9) dice: "En una de las lomitas de donde en la actualidad se escapan libremente gases, se encuentran las raíces ya muertas de un árbol de cedro, semejante a los que ahora crecen en las cercanías; penetra en las rocas fracturadas que contienen azufre, estando enterradas en forma tal que no deja lugar a duda de que corresponden a un cedro que allí creció en otro tiempo". Se han encontrado, asímismo, ramitas de plantas modernas.

En la región hay un laguito con diámetro de 80 mts. aproximadamente, cuyas aguas, de color azul-verdoso, indican la presencia de azufre finamente dividido; sus aguas son algo más calientes que las de los pantanos vecinos, lo cual puede indicar que se trata de un lago formado en una chimenea solfatárica. No hay vegetación en su derredor.

Depósitos de tipo semejante al anterior se han explotado en más o menos escala en el norte del Japón, y los hay también en Sulphur Bank, en Lake County, Calif., y en Cobe Creek, Utah, E. U. A. En las islas Aleutianas existen otros yacimientos de azufre parecidos a los que se acaban de describir.

Yacimientos formados por manantiales hidro-termales.—Estos yacimientos, desde el punto de vista morfológico tienen características muy variadas, siendo las más comunes:

a — En capas o bancos, donde se ha depositado el azufre contenido en las aguas calientes, que ya sean juveniles o resurgentes, toman en solución diversos gases de origen volcánico procedentes de las masas de rocas ígneas subyacentes, aun muy calientes o en estado semifluído, de donde se escapan. Tales gases frecuentemente contienen azufre

---

(9) Loc. cit.

combinado, que al disolverse en el agua ascienden hacia la superficie, donde después depositan azufre libre.

b — Impregnación de las rocas por donde circulan las aguas de los manantiales hidrotermales, que pueden dar origen a acumulaciones de azufre con formas muy irregulares, o bien afectando la tabular, o de vetas, contenidas entre las paredes más o menos paralelas de las grietas por donde circulan las aguas de tales manantiales, ricas en azufre, disuelto principalmente en forma de H_2S.

En ambos casos es común y corriente observar que el azufre se encuentra en estado a veces bastante impuro, debido a materias orgánicas, lo cual produce la variedad de colores que presentan los azufres de yacimientos tales como los de Rustler Sulphur Springs (10), descritos en seguida:

Se encuentran situados en el Estado de Texas, E. U. de A., en la porción norteoriental del Condado de Culberson, entre latitud Norte 31°30' y 32°, y longitud 104° y 104°30', al W del meridiano de Greenwich.

Las rocas que se han identificado en esta sección del Estado de Texas son sedimentarias: gipsita, caliza, dolomita y a veces se encuentran conglomerados; ésto por lo que toca a las formaciones observables en la superficie, ya que en la profundidad existen: yeso, caliza y un material terroso, así como algo de sílice derivada de las rocas antes mencionadas. La gipsita es de color gris sucio o café gris, terrosa en la superficie y compacta al profundizarse, siendo en esta formación donde es frecuente encontrar azufre en abundancia. El yeso en algunas áreas es de gran pureza, pasando a ser un alabastro blanco, macizo, con el que también se asocia el azufre de los criaderos.

E. L. Porch jr., quien hizo el examen de los yacimientos, distingue seis clases de azufre, atendiendo a sus diferencias ya sea en color o bien fijándose si el metaloide está o no cristalizado, como sigue:

a — Azufre de color amarillo, cristalizado, que se encuentra en abundancia, asociado con un material poroso, silizoso, de color café. El diámetro de los cristales de azufre varía desde 1 mm. hasta 3 mm.

b — Azufre amarillo masivo. Este tipo de azufre es sin duda el que con mayor abundancia se presenta en los yacimientos, formando capas y masas con espesor variable entre 30 cms. o más, y menos de 1 mm. Exhibe una estructura bandeada, o bien se muestra en capas concéntricas como si se hubiera formado en una especie de concreciones esféricas. El color de este Azufre varía también, desde el amarillo verdoso al amarillo pálido.

c — Azufre verde cristalizado. Esta clase no es muy común y se ha localizado únicamente en una zona, donde se puede decir que más o menos es abundante. Los cristales son sumamente pequeños, pues apenas si los mayores alcanzan un desarrollo de 1.5 milímetros de diámetro, variando su color entre el verde esmeralda y el verde amarillento; parece que esta variedad de azufre es debida a deposiciones hechas por gases ascendentes a través de las rocas donde se encuentra el mineral, o bien por gases azufrosos contenidos en solución en las aguas de donde tomó las impurezas a las que debe el color.

d — Azufre verde masivo. Es muy raro y solamente se encuentra en muy pequeñas cantidades, en forma de capitas muy delgadas.

e — Azufre plateado masivo. Aunque es frecuente encontrarlo, solamente aparece en cantidades pequeñas, como capitas de escasa potencia; en raras ocasiones llegan a adquirir espesores de algunas pulgadas.

f — Azufre crema masivo. Este tipo de azufre es en lo general raro, y únicamente en el denuncio minero correspondiente al lote llamado "Michigan" se ha descubierto con un espesor de varias pulgadas.

La pureza del material que constituye los yacimientos es muy variable, conteniendo desde 3.20% hasta 90.40% de azufre.

---

(10) E. L. Porch jr. University of Texas Bulletin No. 1722, April 15, 1917.

A continuación se insertan 2 análisis de muestras procedentes de los yacimientos descritos:

	A	B
Sílice	2.34%	49.34%
Oxido férrico	0.15	0.16
Alúmina	1.95	0.18
Cal	31.72	1.35
Magnesia	0.36	0.32
Trióxido de azufre	28.87	...
Azufre libre	3.16	46.00
Oxido de sodio	4.89	...
Oxido de potasio	0.08	...
Humedad	10.10	2.30
Pérdida por ignición	16.04	0.86
Totales:	99.66%	100.51%

El análisis A corresponde a mineral pobre en azufre; el análisis B es del material silizoso con que se asocian los depósitos en cuestión.

Según se deduce de las investigaciones realizadas, el origen de los criaderos se debe a emanaciones de sulfuro de hidrógeno, contenido en solución en aguas escapadas a través de las rocas que cubren el área de los yacimientos; el azufre se ha depositado debido a la oxidación de dicho gas, o bien por cualquiera de los procesos siguientes: en ciertos casos seguramente que es debido a fenómenos pneumatolíticos producidos directamente por los agentes ígneos interiores; en otros casos fueron formados por la acción del sulfuro de hidrógeno sobre la caliza, formándose yeso y liberando azufre; a su vez el yeso parece haber sufrido reducciones provocadas por materias orgánicas.

Se han hecho exploraciones perforando hasta unos 400 metros de profundidad, encontrándose que a los 65, y hasta los 200 metros, aun se encuentra algo de azufre; sin embargo, los trabajos de explotación son poco profundos, por el método de Frasch, o bien por tajos a cielo abierto.

Se habrá observado que los yacimientos formados ya sea por solfataras o por manantiales hidrotermales azufrosos tienen relaciones de origen, estando ligados por lo regular en ambos casos a un vulcanismo que va muriendo. En ocasiones es muy difícil decidir si un criadero de azufre fué formado por emanaciones gaseosas y como un producto de sublimación, o si simplemente se debe a fuentes hidrotermales. Hay casos en los que ambos procesos tuvieron participación en el origen de algunos yacimientos.

Además de los posibles modos como se formaron los criaderos del tipo hidrotermal, ya tratado, Chase Palmer (11) ha indicado las siguientes posibilidades: a) Acción de bacterias de azufre que viven en los manantiales de aguas calientes que depositan azufre. b) Descomposición de polisulfuros o tiosulfatos. Además, Raffo y Marucini (12) ven la posibilidad de que algunos yacimientos de azufre deban su origen a soluciones conteniendo azufre coloidal, habiendo demostrado que una solución conteniendo de 2.79% a 2.60% de azufre coloidal, con 6.43% a 7.00% a ácido sulfúrico y de 3.75% a 3.92% de sulfato de sodio, es estable. Ese estado de equilibrio se rompe por un cambio de concentraciones, lo cual determina la precipitación de azufre.

Ya se dijo que salvo raros casos, dada la abundancia con que se encuentran los depósitos del "tipo volcánico", éstos generalmente carecen de importancia para su explotación en más o menos escala, como se requiere en la actualidad para cubrir las necesidades industriales, lo cual contrasta notablemente con la riqueza o potencialidad de los tratados a continuación:

---

(11) Woodruff, E. G.—Sulphur Deposits at Cody, Wyo. U. S. Geol. Survey, Bull, 340, 1908, p. 455.

(12) Zeitscher. Chemie Und Kolloide, vol 9. 1911, p. 58.

Yacimientos sedimentarios

Capas, lentes, etc.—Las modalidades morfológicas con que se han encontrado esta clase de criaderos de azufre, incluyen, principalmente, las siguientes formas: mantos, lentes, domos y bolsones, que exhiben la característica, según indicamos en otra parte, de estar asociados con rocas tales como calizas, lutitas y formaciones de sulfato de calcio, ya sea como anhidrita o como yeso. Difieren del tipo de yacimientos volcánicos en que no tienen, por lo menos hasta donde se ha investigado, ninguna relación con rocas ígneas.

Por lo que respecta a las formas que toman los yacimientos, éstas dependen muy principalmente de las modalidades estructurales de las rocas donde se efectuó la deposición del azufre, así como de la manera en que se fué desarrollando dicha deposición, ya sea en forma continua, o bien alternativamente, en capas regulares o imbricadas, como se describe al tratar de los criaderos italianos.

En algunos casos, especialmente cuando los yacimientos se encuentran relacionados con yeso, las formas de las acumulaciones de azufre son irregulares, debiéndose ésto al origen mismo del criadero: derivado como un producto de la descomposición del sulfato de calcio mediante los agentes y procesos ya tratados en otra parte.

Ha habido alguna controversia respecto al origen de ciertos depósitos de azufre, algunos de ellos de gran importancia comercial, existiendo dudas entre los investigadores que los han examinado, y por lo mismo, como en el caso de los criaedros italianos de Sicilia, no están de acuerdo en que se les señale un origen sedimentario en el sentido absoluto de la expresión, al pensar que muy posiblemente deben su origen a agentes hidrotermales cargados con sulfuro de hidrógeno, que al pasar a través de las aguas contenidas en vasos cerrados precipitaron azufre, mineral que alterna con capas de otros materiales depositados en el mismo período. Aun en el supuesto de que las emanaciones de H_2S de donde por precipitación se derivó el azufre fueron no ya un producto de la descomposición de materias orgánicas, sino provenientes de fenómenos volcánicos, se estima que los yacimientos deben, por los procesos que intervinieron en su formación, ser clasificados como sedimentarios.

Los depósitos mejor estudiados de este tipo son sin duda los de Sicilia, Italia, examinados por gran número de ingenieros y geólogos de diversos países. Seguramente que los trabajos más completos sobre dichos criaderos son los de W. F. Hunt (13) y los de la Comisión Geológica Italiana (14).

En la isla de Sicilia es frecuente encontrar azufre en una faja orientada casi de Este a Oeste, desde las inmediaciones del monte Etna, hasta Girgenti, por una parte, y por la otra hasta más allá de Casteltermini, al Norte de Girgenti. La longitud máxima de esta faja es de unos 160 kilómetros, por 90 kilómetros de anchura. Dentro de esa zona se han abierto y trabajado desde hace siglos un considerable número de minas de azufre que han producido enormes cantidades de mineral.

Desde el punto de vista de su geología, la isla ha sido bastante bien estudiada por S. Mottura y L. Baldacci (15). Las formaciones de origen sedimentario donde se encuentran los criaderos de azufre son todas de edad terciaria y quedan comprendidas desde el Mioceno Superior hasta el Plioceno Superior, según puede verse en la siguiente tabla:

Plioceno Superior:
- Arenas amarillas y areniscas,
- Brechas.

Plioceno Inferior:
- Calizas con foraminíferas

Mioceno Superior:
- Serie gessoso-solfífera, o formación yeso-azufrosa,
- Trípoli,
- Arcillas arenosas conteniendo sal.

---

(13) Walter F. Hunt. The Origin of the Sulphur Deposits of Sicily. Ec. Geol. Vol. 10, 1915, pp. 543-579.

(14) Boll. d. R. Com. Geol. D'Italia, "Contibuto agli Studi sulla genesi del giacimenti di solfo". Vol. 20. pp. 110-118. 1889.

(15) S. Mottura y L. Baldacci., "Descrizione geologica dell'Isola di Sicilia" Memorie descrittive della Carta geologica d'Italia, Vol. I, Rome, 1889.

Los criaderos de azufre se muestran en forma de lentes, que a veces son pequeñas e irregulares, distribuídas en la formación de yeso. Otras veces se observa una marcada estratificación entre el mineral y la roca caliza, tal y como puede apreciarse en la Figura No. 7. En ciertos casos, como en la mina de Gessolungo-Trigona, se nota que existen incorformidades entre las capas de azufre y las estratificaciones lutíticas que las soportan, lo cual pone en evidencia que con anterioridad a la deposición del azufre dicha formación había sufrido los efectos de los agentes erosivos. En cambio, en la parte superior, tal y como se ilustra en la figura No. 8, no se encuentra inconformidad entre las lutitas y la capa mineral, depositada sin duda durante el mismo período de sedimentación lodosa que originó las lutitas.

Según Mottura la sección vertical de los yacimientos de azufre de Solfara Grande di Sommatino es la siguiente, principiando de arriba hacia abajo:

Formación	Potencia
1.—Arcilla bituminosa	0.50 m.
2.—Caliza conteniando azufre	8.00 m.
3.—Arcilla bituminosa	0.50 m.
4.—Caliza conteniendo azufre	7.00 m.
5.—Arcilla bituminosa y yeso	0.75 m.
6.—Caliza conteniendo azufre	8.50 m.
7.—Yeso y arcilla bituminosa	0.65 m.
8.—Caliza conteniendo azufre	3.50 m.
9.—Yeso y arcilla bituminosa	0.50 m.
10.—Caliza conteniendo azufre	2.50 m.
11.—Yeso y arcilla bituminosa	0.50 m.
12.—Caliza conteniendo azufre	2.00 m.
13.—Arcilla bituminosa y yeso	0.25 m.

Así pues, se nota que la formación de calizas conteniendo el mineral tiene un espesor total de poco más de 31 metros. Sin embargo, en la mina Solfarella di Sommatino, cuya sección se incluye a continuación, el total de los horizantes conteniendo azufre solamente llega a sumar menos de 20 metros, según se anota en el cuadro siguiente, donde la potencia de la primera capa no se consigna debido a que es muy variable.

Formación	Potencia
Capa de azufre de potencia variable	
Lutitas bituminosas	40.00 metros.
Capa de azufre ("Vanella blanca")	6.00 metros.
Lutitas bituminosas	0.50 metros.
Capa de azufre ("Vanella soriata")	5.00 metros.
Lutitas bituminosas	0.50 metros.
Capa de azufre ("Vanella Bastarda")	6.00 metros.
Trípoli y caliza silicosa	12.20 metros.

Por lo que respecta al contenido de azufre en los horizontes donde se presenta el mineral, éste varía grandemente, según se ve en los muestreos que de las diversas minas se han hecho; sin embagro, se estima que tienen una ley que en promedio se ha dicho ser de 31%. El siguiente cuadro muestra los promedios de las leyes del mineral que se ha extraído en varias de las minas de Sicilia.

Mina	Porcentaje de S.
Montedore	13 a 25%
Pernice de Racalmuto	30
Muculufa	17 a 18
Naro	50
Licata	15
Juncio - Cattanissetta	20 a 22

Mina	Porcentaje de S.
Madore (Lercera)	18%
Trabonella	20
Crottacalda (Valguarnera)	25 a 27
Sommatino	18 a 26
Cimicia (Racalmuto)	21

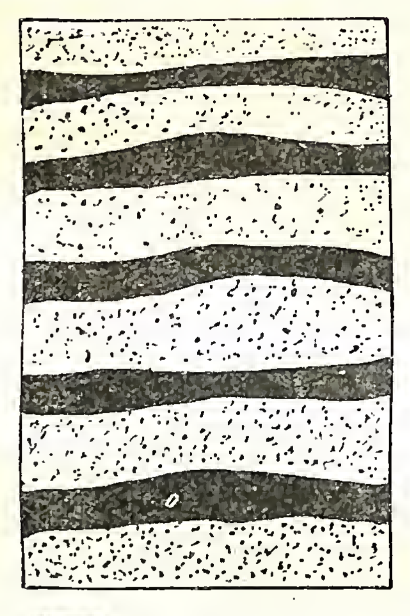


Fig. No. 12.—Disposición alternada de las capas de azufre y caliza, de la mina: Solfara Grande di Sommatino, Sicilia, según Mottura.

Los criaderos de azufre sicilianos, como se ve en las figuras Nos. 12 y 13, se asocian principalmente con rocas calizas, así como con algo de yeso y lutitas.

Las rocas calizas son de dos tipos: en ocasiones se encuentran compactas, en tanto que otras veces muestran una estructura celular; generalmente en ambos casos contienen impurezas tales como arcilla, yeso y materias bituminosas. Es frecuente que el azufre, muy puro, aparezca en forma de capitas delgadas, paralelas a los planos de estratificación de la caliza, roca que descansa, a su vez, sobre una formación de trípoli. Por otra parte, el azufre que se explota, aunque no con la pureza de las pequeñas capitas antes mencionadas, se presenta como intercalaciones en las calizas. Véanse las secciones anteriores, sobre el particular. Es frecuente encontrar también, aunque carentes de todo valor económico, pequeñas lentes de azufre secundario, intercaladas en las calizas, rocas que contienen fósiles de agua dulce, lo cual es un indicio bien claro respecto a su origen. Según las evidencias encontradas por quienes han estudiado la geología de Sicilia y de los yacimientos de azufre, éstos se forman en lagunas cerradas, alimentadas por manantiales cuyas aguas eran ricas en carbonato de calcio y contenían abundante sulfuro de hidrógeno, factores que dieron origen a las calizas y a los depósitos de azufre mediante los procesos ya conocidos. Algunos no están de acuerdo ocn lo anterior, debido a la presencia de yeso en las formaciones, y creen que las calizas son de origen marino. Dicen, también, que los yacimientos de azufre no se deben al sulfuro de hidrógeno directamente, sino a la reducción del yeso por la acción del metano generado por la materia orgánica, lo cual produjo ácido sulfhídrico. Lo anterior no es posible a las temperaturas ordinarias que parece privaban en las aguas donde se formaron los actuales yacimientos.

Mottura (16), cuya teoría sobre la génesis del azufre de Sicilia es aceptada como

---

(16) Loc. cit.

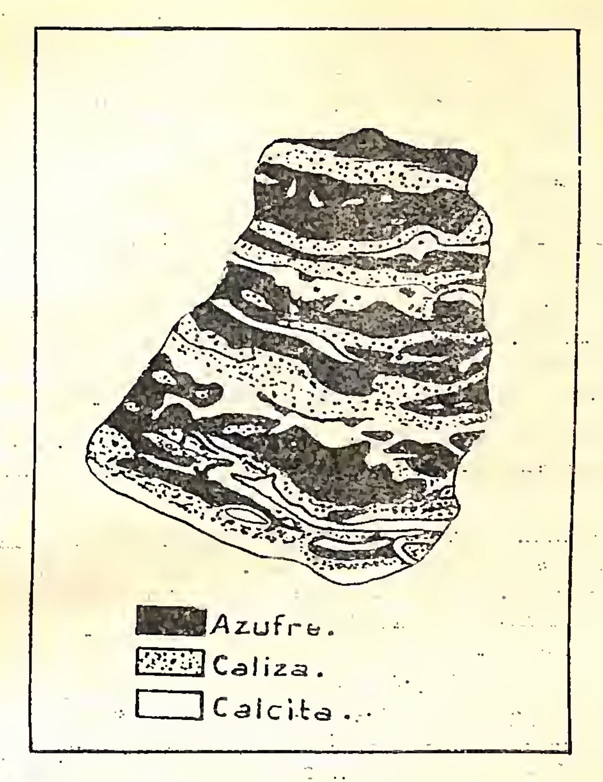


Fig. No. 13.—Estructura bandeada del mineral de azufre explotado en las minas sicilianas. ½ del tamaño natural. Según O. Stutzer.

la más correcta, sugirió que los criaderos deben haberse formado no en lagunas marinas, sino en cuencas lacustres interiores, bastante amplias, con extensión hasta de varios kilómetros como en el caso de Caltanissetta, donde, de acuerdo con la extensión de las formaciones, la cuenca debe haber tenido de 5 a 6 kilómetros de largo y varios centenares de metros de anchura. Parece que las aguas tenían porcentajes muy altos de sulfatos, los cuales, gracias a la acción de las bacterias de azufre se transformaron en gas: sulfuro de hidrógeno, que no solamente saturó los niveles inferiores del lago, sino que ocasionó una serie de importantes reacciones químicas que dieron lugar a la formación de $Ca(OH)_2$ y $Ca(SH)_2$ por la acción del dióxido de carbono al reducirse el sulfato de calcio, provocándose, así, la precipitación tanto de azufre como de carbonato de calcio. Mottura supone que una parte del azufre liberado formó un polisulfuro al ser absorvido por el $Ca(SH)_2$. El polisulfuro, muy inestable en presencia del sulfuro de hidrógeno, produjo a su vez una nueva precipitación de azufre elemental. La repetición de este proceso, alternando con la sedimentación de las lutitas bituminosas, se tradujo en la estructura que los yacimientos muestran en la actualidad: una serie alternada, horizontal, de capas de azufre y lutitas bituminosas, descansando sobre una formación de trípoli y caliza silicosa.

Domos salinos con azufre.—El estudio de esta clase de estructuras geológicas es de grande interés no solamente desde un punto de vista geológico, estructural y por su génesis, que desde su descubrimiento ha sido un punto de debate que hasta la fecha no ha podido ser resuelto en definitiva. Su investigación también presenta una fase de mucho interés desde un ángulo distinto: el económico, ya que, y gracias a los modernos medios de explotación, han resultado ser maravillosas fuentes de riqueza, productoras de cientos de millones de pesos ya sea en petróleo, azufre, o sales como las de potasio.

Los domos salinos principiaron a ser descubiertos e investigados desde el año de 1865, y siempre han constituído, según ya indicamos, un problema, pues explicar sus orígenes no resulta cosa fácil. Esta clase de estructuras no se han descubierto y estudiado únicamente en el continente americano, ya que también se han identificado en otras partes del Mundo; sin embargo, los de Norte América se han significado tanto por su gran-

diosa producción de petróleo en ciertos casos, como por su maravillosa riqueza de azufre, siendo ejemplo clásico el domo salino-azufroso de Calcasieu Parish, en el Estado de Louisiana, E. U. A., donde por primera vez en la historia de esta clase de yacimientos, en el ya citado año de 1865 fué descubierto que junto con el yeso, la anhidrita, la caliza y la sal que los constituía, se encontraba también una considerable cantidad de azufre.

La explotación de esta riqueza no fué iniciada desde luego debido a las grandes dificultades que ofrecía, y se consideró como una cosa imposible de realizar, hasta que, en el año de 1903 se intentó con buenos resultados gracias al ingenioso y sencillo método ideado por Frasch, descrito en otra parte de esta Memoria.

En el caso de la explotación del domo de Calcasieu por su contenido de azufre, ésta duró 21 años, hasta 1924, cuando hubo de ser abandonada por haberse agotado después de producir un total de poco más de 10.000,000 de toneladas de azufre con valor de 155.000,000.00 de Dls., en lo que hubo una ganancia de 140.000,000.00 Dls.

Los datos históricos ya apuntados, agregados a los que se insertan al final de la descripción de los domos salinos, darán una idea bastante elocuente respecto a su importancia económica.

Esta clase de estructuras han sido objeto de cuidadosas investigaciones en los Estados Unidos, donde han sido descubiertos unos 200 domos, de los cuales solamente un pequeño número contiene azufre en grandes cantidades. Regularmente los domos salinos se levantan poco sobre el nivel medio del terreno, pues apenas si alcanzan de 4 a 40 metros de altura. La constitución de las diversas formaciones que los constituyen son generalmente semejantes en los campos estudiados en Texas y Louisiana, donde, según Philip S. Smith (17) se presentan las siguientes rocas: desde la superficie y por varios centenares de pies de profundidad, solamente se encuentran arenas sueltas o movedizas y lodos, que cubren a una capa de caliza con espesor aproximado de unos 35 metros, a la que se la dá el nombre de roca de la cubierta, ya que bajo dicha formación apareecn las rocas típicas del domo: calizas, yeso, anhidrita y grandes cantidades de azufre. En estas rocas a medida que se gana en profundidad con las perforaciones hechas, se ha visto que la cantidad de caliza disminuye, así como también el azufre, en tanto que la

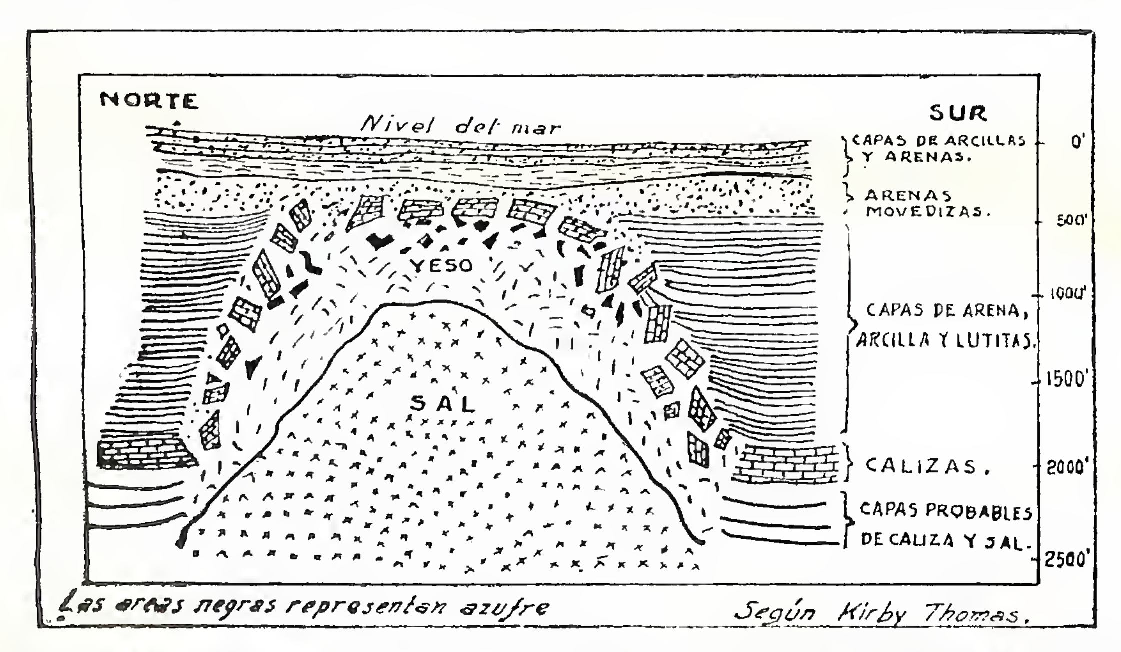


Fig. No. 14.—Corte vertical de un domo salino, basándose en las perforaciones hechas en Calcasieu, Louisiana, E. U. A., indicando la distribución del azufre. Según Kirby Thomas.

(17) Smith, Philip S., "Sulphur Pyrites and Sulphuric Acid" Mineral Resources of the U. S., part. 2, p. 23, U. S. Geol. Survey, 1917.

proporción de yeso y anhidrita aumentan; a su vez estas formaciones desaparecen para dejar la absoluta predominancia al núcleo central del domo, a sea a la sal, cuya profundidad o potencialidad se ignora. Se les ha llamado domos por la forma que afectan: de una especie de joroba, generalmente cónica en el caso de los de los Estados Unidos, y alargada, como si siguiera el eje de un anticlinal, en el caso de los domos salinos mexicanos del Istmo de Tehuantepec. Por lo anterior se debe presumir que las formaciones que integran estas estructuras, se encuentran plegadas. Se ha llegado a medir, en algunos casos, que la inclinación o echado de las rocas en las porciones laterales de los domos, es, a veces, hasta de 45 grados.

En la figura No. 14 se ilustra la estructura de un domo salino.

De acuerdo con el mismo investigador, la sección vertical de un domo salino en Calcasieu Parish, construída con los datos de las perforaciones hechas, daría, hasta una profundidad de 1,000 pies, el siguiente diagrama:

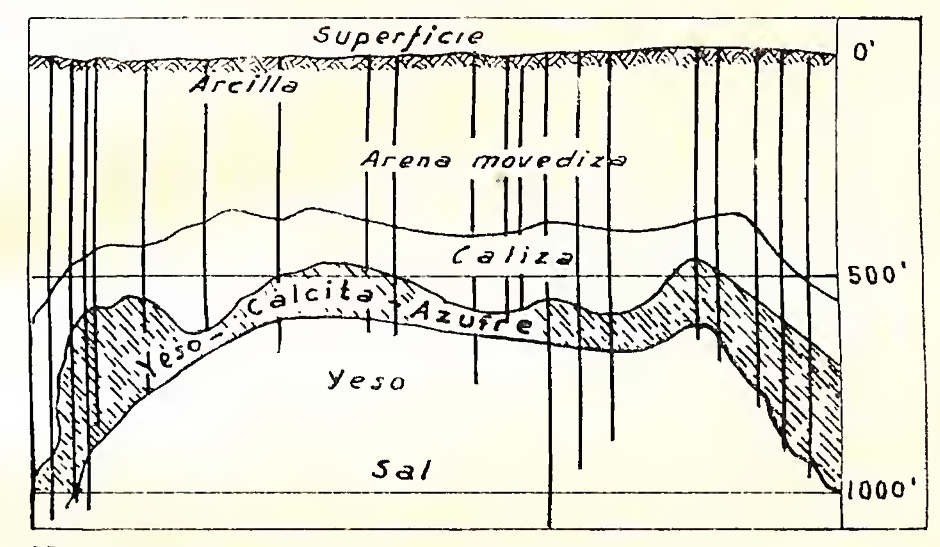


Fig. No. 15.—Posición de la capa conteniendo azufre, en el domo salino de Calcasieu, La., según una sección vertical de Kirby Thomas.

Si el lector desea ilustrarse extensamente sobre la geología general y estructural de los domos salinos, puede consultar los trabajos de W. Kennedy (18), A. G. Wolf (19) y P. K. Kelley (20).

Morfológicamente los cuerpos de azufre contenidos en la caliza, yeso, anhidrita y algunas veces en las arenas de los domos afectan por lo regular formas sumamente variadas, cosa en que están de acuerdo todos los autores que se han ocupado de este tipo de yacimientos de azufre. El mineral a veces se encuentra rellenando cavidades de formas sumamente variadas, en las calizas o el yeso; en otras ocasiones forma bolsones, vetas, vetillas y mantos con espesores muy diversos. o bien impregna las arenas.

El Mineral aparece siempre en estado nativo y su proporción varía desde una fracción de uno por ciento hasta 60%, siendo frecuente encontrar horizontes o bolsones conteniendo grandes cantidades de azufre puro, de donde se han extraído miles de toneladas de mineral.

---

(18) W. Kennedy.—The Bryan Heights salt dome, Brazoria County, Tex. Bull Am. Assoc. Petr. Geol., vol. 9 pp. 613-625, 1925, y en el mismo volumen: pp. 678-690.

(19) A. G. olf.—The Big Hill salt dome, Matagorda County, Tex. Bull. Am. Assoc. Petr. Geol., vol. 9, pp. 711-737, 1925, También véase: "Geology of Salt Dome Oil Fields" pp. 691-717, 1926.

(20) P. K. Kelley.—The Sulphur salt dome, Louisiana: "Geology of Salt Dome Oil Fields", Am. Assoc. Petr. Geol., pp. 453-469, 1926.

En cuanto se refiere a la génesis del azufre encontrado en los domos salinos, todo hace creer que debe su origen al sulfato de calcio en las formas de yeso y anhidrita, de donde se derivó gracias a la acción reductora efectuada, según parece, ya sea por bacterias de azufre, o bien debidas al aceite mineral o chapopote. Dado el enorme tonelaje extraído y el que posiblemente queda aun en disponibilidad, hace pensar, desde luego, que los fenómenos de reducción deben haberse efectuado en grande escala y durante largos períodos de tiempo geológico.

La distribución geográfica de los principales campos productores de azufre en los domos salinos de la costa del Golfo de México en los Estados Unidos, famosos por su extraordinaria producción, se ilustra en la siguiente figura.

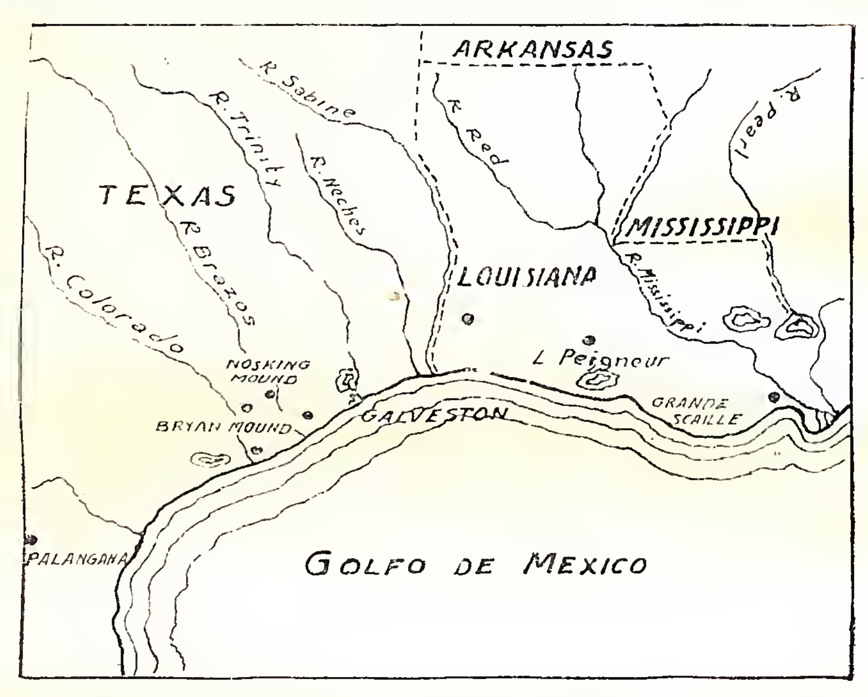


Fig. No. 16.—**Depósitos de azufre en la costa del Golfo de México, en Estados Unidos. Según Thieler. • Azufre.**

Para completar las ideas consignadas sobre las posibilidades económicas de los yacimientos de azufre contenidos en los domos salinos, bastará agregar los siguientes datos: regularmente al perforarse un pozo para explotar azufre por el método de Frasch, se encuentra que el mineral se distribuye en forma irregular tanto en forma como en potencialidad de los cuerpos que lo guardan; al analizar los centros obtenidos de las perforaciones hechas se ha descubierto que el mineral explotable tiene una riqueza generalmente con promedio de azufre que oscila entre 10% y 14%. Los costos de explotación son casi siempre muy bajos, cosa que permite obtener grandes utilidades, según se hizo resaltar al principiar a describir los domos salinos. Podrían citarse las estadísticas de producción, costos y ganancias de varios pozos, pero estimamos que con el ejemplo del de Calcasieu y el siguiente, es más que suficiente.

Del domo que se explotó en la zona de Calcasieu, La., con superficie de 30 Hs., se extrajeron 335,000 toneladas de azufre, por hectárea, con una utilidad igual a 4.620,707 dólares, por hectárea.

Para el otro ejemplo puede tomarse el caso de los domos explotados en la zona de Palangana, en el Estado de Texas, E. U. A., que fueron trabajados hasta su agotamiento total, y de los que se dispone de estadísticas completas. Se extrajeron, en un caso: 13,000,000 de toneladas de azufre, valuadas en 234.000,000 de dólares, habiendo habido una utilidad líquida de 133.000,000.00 de dólares. En otro caso, donde la producción fué muy inferior, se ganaron 5.500,000.00 dólares.

Para terminar diremos que la importancia económica de los domos salinos no so-

lamente estriba en su potencialidad como productores de azufre, sino que de ellos se extraen grandes cantidades de potasa y petróleo. Se ha estimado que su producción en esas substancias representa: 85% de la producción mundial de azufre; 40% de la producción mundial de potasa y 6% de la producción mundial de petróleo.

DISTRIBUCION GEOGRAFICA MUNDIAL DEL AZUFRE

Fué ya dicho que el azufre elemental se encuentra ampliamente distribuído en todos los continentes de la Tierra, ya sea de origen volcánico o sedimentario, afectando sus criaderos cualquiera de las formas descritas con anterioridad. Sin embargo, desde el punto de vista comercial los yacimientos de azufre que han contribuído en forma muy apreciable a la producción mundial, se localizan, principalmente, en su orden de productividad e importancia, en América, Europa y Asia, ya que tanto en Africa como en Oceanía la explotación de azufre no tiene ningún valor o no se ha hecho debido a la incosteabilidad comercial de sus criaderos para ser de interés económico.

Al tratar sobre la distribución geográfica mundial del azufre, ésta se hace por continentes, en forma breve. Por lo que a México respecta se hace una descripción tan completa como ha sido posible.

A F R I C A

En la gran extensión cubierta por el continente africano es notable la ausencia de yacimientos de azufre elemental, y por lo mismo, para cubrir sus necesidades debe importarlo ya sea de Europa: Italia, o bien de los Estados Unidos.

Hasta la fecha únicamente se han mencionado tres lugares donde existe azufre:

ABISINIA.—En la porción oriental del país, a menos de 90 kilómetros del Mar Rojo y no lejos de Eritrea, se ha dicho que existe un yacimiento con mineral cuyo contenido de azufre varía entre 80% y 90%, asegurándose que puede disponerse de algo así como de 1.000,000 de toneladas de mineral. Sin embargo la explotabilidad de su riqueza es demasiado difícil y entraña un fuerte problema engendrado por la falta de agua y las condiciones climatéricas del desierto.

RODESIA.—Se dice que no lejos de Tuli hay un pequeño depósito, pero la pobreza y escasez de mineral haecn que carezca de todo valor económico. Es, simplemente, de interés mineralógico.

AFRICA DEL SUR.—Parece que cerca de la Bahía de Walvis se descubrió azufre. Se ignora si hay suficiente cantidad, su calidad y facilidades para explotarse. No se han hecho trabajos de reconocimiento y parece existir la opinión de que tales yacimientos no representan ningún valor desde el punto de vista comercial.

A M E R I C A

En este Continente se encuentran depósitos de azufre tanto del tipo ígneo como del sedimentario. Aunque los primeros, véase figura No. 11, son abundantes desde Patagonia hasta Alaska siguiendo la gran cadena de montañas americanas circumpacíficas, no son dichos yacimientos, ni con mucho, comparables en su potencialidad con los de origen sedimentario, entre los que se encuentran los campos famosos de los domos salinos de Texas y Louisiana, en los Estados Unidos, que han sido desde 1913 los más grandes productores de azufre en el Mundo. Véase el capítulo sobre producción de azufre.

SUR AMERICA

En casi todas las Repúblicas sur-americanas de la porción del Pacífico, a través de

cuyos territorios pasa la gran cordillera andina, y en aquellos sitios de ella donde ha habido o existen actividades volcánicas, se han encontrado buen número de yacimientos de azufre, pero desgraciadamente en la mayoría de los casos con importancia comercial escasa o ninguna.

La producción de azufre en Sud-América, aún en el caso de criaderos de cierta potencialidad se ha visto restringida por las dificultades que existen para su aprovechamiento: los medios de acceso son muy difíciles, lo cual hace incosteable su explotación.

De acuerdo con los datos disponibles las reservas de azufre se encuentran en 6 Naciones, como sigue: Argentina, Bolivia, Ecuador, Venezuela, Perú y Chile.

En algunos casos, como acontece en ciertas regiones de Venezuela y Perú, se tienen criaderos asociados con formaciones sedimentarias, pero son poco conocidos.

ARGENTINA.—En la República Argentina, Andes argentinos, el azufre se ha encontrado en varios de sus volcanes a tan altas elevaciones sobre el nivel del mar y tan lejos de cualquiera vía de transporte que toda posibilidad de poderlos aprovechar es negativa. Como puede notarse en el cuadro sobre producción mundial de azufre, Argentina no produce mucho, debido principalmente a las razones ya indicadas.

BOLIVIA.—No posee gran cosa de azufre, ya que solamente se han localizado dos criaderos, en Napa y Caite, cercanos a las frontera con Chile. Se ignora cuál sea la potencialidad de tales depósitos. La contribución de Bolivia en la producción mundial de azufre, es escasa.

ECUADOR.—En los cráteres volcánicos del Ecuador toda actividad se encuentra en uno de sus últimos estados latentes, el fumarólico, existiendo pequeños yacimientos de azufre que a través del tiempo y aunque en muy pequeña proporción, se han podido aprovechar.

No se han hecho las exploraciones debidas en los campos petrolíferos de Santa Elena, en esta República, para estimar las posibilidades que ofrezcan los yacimientos de azufre allí descubiertos.

VENEZUELA.—En los estados venezolanos de Tachira y Trujillo, en las cercanías de San Jacinto y Capurano se localizan los depósitos de azufre más grandes de la nación. No se han hecho trabajos de exploración en suficiente escala para apreciarlos debidamente, aunque se les concede cierta importancia, esperándose que constituyan una reserva de azufre de consideración. Estos yacimientos se asocian con rocas sedimentarias y yeso.

PERU.—También dispone de azufre en rocas sedimentarias en la provincia de Piura, en las inmediaciones de la población de Reventazón, donde el mineral se asocia con areniscas, a las que impregna en una profundidad de poco más de 1.5 mts., teniendo los horizontes mineralizados una riqueza hasta de 15% de azufre. Además de la localidad citada se han encontrado yacimientos del mismo tipo en las cercanías de la población de Chuquiquillan, en la provincia de Pallasca, observándose allí que el azufre se asocia a rocas tales como: yeso, margas y arcillas.

Finalmente, los yacimientos de origen volcánico, que según los informes existentes son susceptibles de aprovechamiento, se sitúan a corta distancia de la frontera chilena en Campo y Paucarani. El rendimiento de azufre de las minas peruanas no es considerable; véase capítulo sobre producción.

CHILE.— S. V. Griffith (21) dice respecto a los yacimientos chilenos de azufre: "Sin embargo, de entre todas las repúblicas de Sur-América, Chile es la mejor dotada de depósitos de azufre de valor comercial, mismos que podrían alcanzar gran importancia si para su operación fueran creadas, debidamente, las organizaciones necesarias. Los criaderos mejor conocidos, de norte a sur, son: Tacora y Chupiquiña, en las provincias de Arica y

---

(21) **S. V. Griffith.—The Mining Magazine, Vol. LXIV, No 1 Jan. 1941.**

Ollague, y Avcanquilcha y Oles en la provincia de Antofagasta. Se conocen otras localidades, pero no son explotables debido a que no se dispone de las facilidades necesarias".

A pesar de no contarse con empresas fuertes organizadas para explotar los criaderos chilenos, como se verá en el cuadro estadístico sobre producción mundial de azufre inser-



Fig. No. 17

tado posteriormente, dicho país ha proporcionado, cuando menos, parte del mineral que necesita para su consumo doméstico.

En la Figura No. 17 se representa, aproximadamente, y según S. V. Griffith (22) la distribución geográfica de los criaderos de azufre en la América del Sur.

CENTRO AMERICA

En esta pequeña porción del Continente Americano existe buen número de aparatos volcánicos, extintos en su mayoría, así como algunos activos, como el gran volcán de Santa María, en Guatemala. En casi todos los lugares donde se localizan los centros volcánicos, extintos o aún activos, se encuentra el azufre elemental en criaderos del "tipo volcánico", ya sea como producto de sublimación por oxidación de H_2S en las fumarolas, o depósitos por aguas termales.

GUATEMALA.—No obstante que el eje volcánico de la costa americana se manifiesta notablemente en varias de las repúblicas centro americanas, no se tienen noticias de que fuera de Guatemala y unas cuantas localidades en El Salvador y Nicaragua, existan yacimientos de azufre en explotación.

En Guatemala la extracción de azufre se hace en reducida escala y proviene de criaderos de poco importancia.

NORTE AMERICA

Los depósitos de azufre de Norte-América, además de muy numerosos, abarcan todos los tipos ya descritos en páginas anteriores; los hay tanto del "tipo volcánico" como del "sedimentario" y guardan, en conjunto, las reservas mundiales de azufre más grandes que se conocen. Desde hace poco más de 35 años los yacimientos de los domos salinos de Texas y Louisiana han producido casi la totalidad del azufre continental, asunto que se tratará con mayor detalle en otro capítulo.

CANADA.—Aunque en el Canadá se sabe que existen algunos criaderos de azufre, no se dispone de datos sobre su historia, tipos de yacimientos y ubicación precisa, salvo en unos casos. No hay datos de que hayan sido explotados en el pasado.

ESTADOS UNIDOS.—Ya fueron descritos en capítulos anteriores de esta Memoria algunos de los depósitos de azufre más importantes de los Estados Unidos, haciendo hincapié en que los de los domos salinos de los Estados de Texas y Louisiana han sido, desde su descubrimiento, los productores más fuertes de azufre no sólo de aquel país, sino del Mundo entero, datos que se discuten al tratar sobre la producción Mundial de Azufre, concretándonos aquí a indicar que la producción anual obtenida de ellos alcanza cifras que oscilan entre dos y tres millones de toneladas anuales de azufre.

La literatura geológico-minera de los depósitos de azufre con que cuentan los Estados Unidos es bastante completa, y en caso de que el lector desee empaparse en ella, puede consultar las publicaciones dadas a luz por el Servicio Geológico Americano, por el Departamento de Minas del Gobierno de los Estados Unidos, y en las que han producido ya sean los Departamentos Geológicos oficiales de los Estados de Texas, Louisiana, California, Utah y Wyoming, o bien en las publicaciones hechas sobre el particular por las Universidades de esas Entidades, o por las compañías particulares que explotan o explotaron los yacimientos.

Se encontrarán las referencias respectivas consultando ya sea directamente a las Autoridades antes mencionadas o bien el Indice sobre la literatura geológica de Norte-América, publicado por el Servicio Geológico Americano.

MEXICO.—Existen en este país gran número de criaderos de azufre, esparcidos en

(22) Loc. Cit.

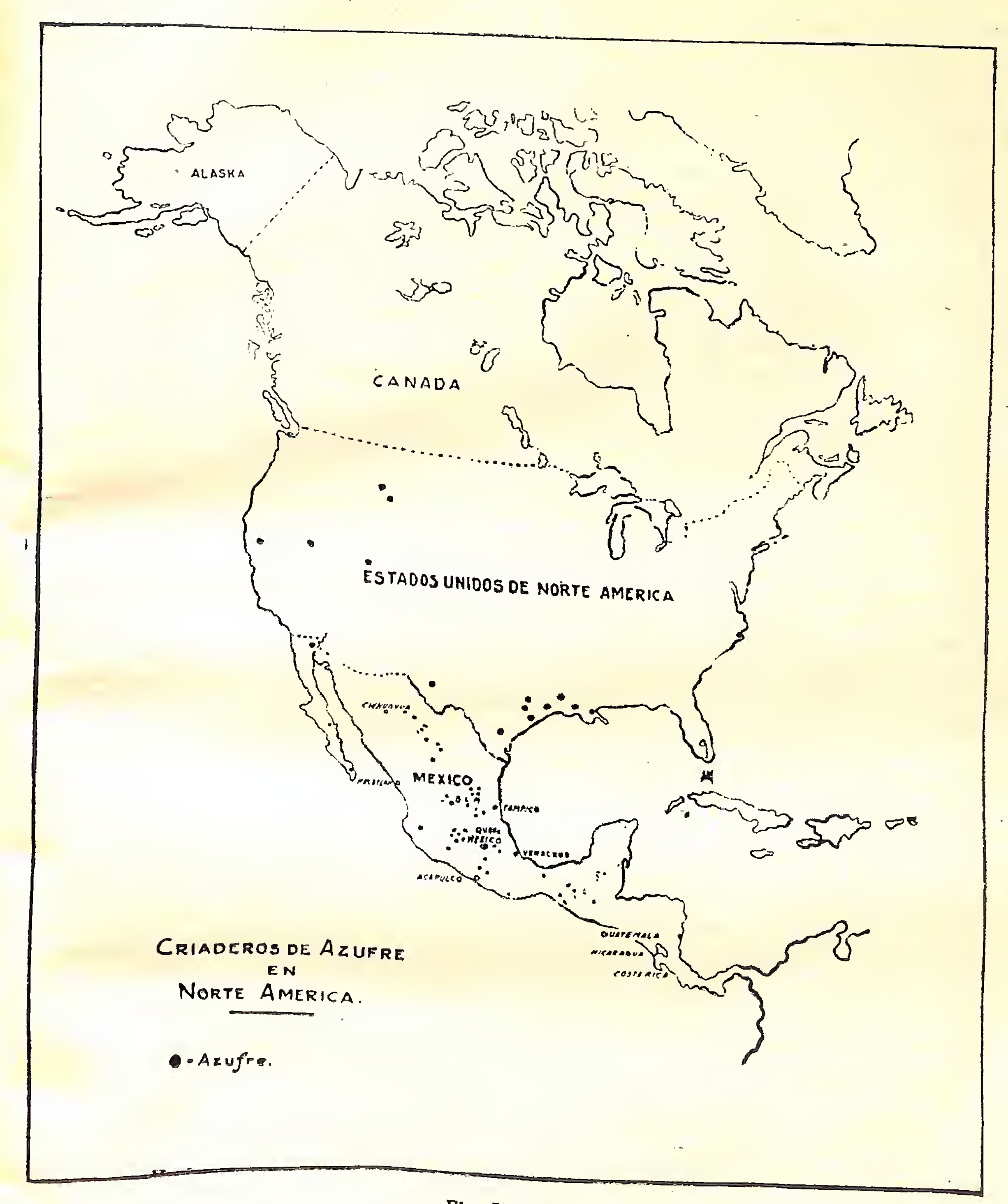


Fig. No. 18

diez y ocho Estados; se nota que el mayor número de localidades conteniendo azufre quedan aproximadamente situadas en la porción central y Entidades Federales del Sur, observándose también que casi en todos los casos aparecen coincidiendo con zonas en las que los fenómenos volcánicos se manifestaron en forma notable. Algunas de tales regiones aún exhiben estados latentes de actividad, en forma de erupciones esporádicas como las

que fueron observadas en los volcanes de El Jorullo, Mich.; Ceboruco, Nay.; Colima, Col., y en épocas prehistóricas en Las Vírgenes, B. C.; Acahuato, Mich., etc., etc. Otras veces esas últimas manifestaciones de una actividad que va desapareciendo se encuentra ampliamente representada por solfataras como las de El Popocatépetl, Méx., y El Chillador, Mich., o bien por las innumerables fuentes hidro-termales, fuertemente cargadas con emanaciones de sulfuro de hidrógeno.

Son bastante raros en nuestro territorio los depósitos secundarios de azufre, donde el mineral se ha encontrado como producto derivado de los fenómenos de alteración que han sufrido minerales metálicos conteniendo azufre: sulfuros, tal y como se observa en las minas de cobre de Tepezalá y Asientos, en el Estado de Aguascalientes.

Existen en Colima, Zacatecas, San Luis Potosí y Durango, principalmente, criaderos que difieren grandemente en origen a los dos tipos antes citados. En aquellos Estados el azufre se encuentra asociado con rocas sedimentarias, principalmente calizas, pizarras y margas, conteniendo yeso en abundancia.

Finalmente, en el Istmo de Tehuantepec se han descubierto, en los campos petroleros, yacimientos del tipo de los domos salinos.

Desde el punto de vista económico tienen valor solamente los del "tipo volcánico", (algunos) los que se asocian con rocas sedimentarias (no todos), y los de los domos salinos de la zona de Tehuantepec.

Al hacerse la descripción de los criaderos de azufre mexicanos, se consignan, en cada caso, todos los datos que sobre ellos se tienen. Como se podrá ver en el mapa que muestra la distribución geográfica de los yacimientos de azufre en México, en la lista de las localidades de azufre de México, y en la lista de concesiones solicitadas para explotar azufre en México, el número de localidades no coincide con el de los yacimientos que se describirán en páginas posteriores; lo anterior es debido a las causas siguientes: muchas de las localidades no tienen mayor interés que el mineralógico, como lugar donde se ha encontrado azufre; otras veces se carece de los estudios y datos necesarios para describirlos, o bien, en algunos casos, los informes de que se dispone son demasiado incompletos y necesariamente no es posible hacer consideraciones más amplias.

De acuerdo con los datos históricos existentes el azufre debe haber sido conocido por los aborígenes de México desde hace siglos, aunque nunca fuera aprovechado sino hasta mucho después del arribo de los españoles al país.

Ya antes de 1884 (23) parece que la industria de la explotación de azufre había tomado cierto auge, pues se consideraba que los criaderos más importantes de donde se obtenía el metaloide eran los de San Antonio Huascamán, S. L. P.; Mapimí, Dgo., que vendía sus productos a la Casa de Moneda en México; Taximaroa, Mich., y El Popocatépetl, México.

A continuación se hace la descripción de algunos de los yacimientos de azufre mexicanos, localizados en el mapa respectivo.

En el Distrito Sur de la división política de la península de Baja California existen dos criaderos: el de Santiago, de donde no se tienen informes, y el del Volcán de las Vírgenes.

Las Vírgenes, B. C.—Son pocos los datos que sobre él se tienen, sabiéndose lo siguiente: queda situado en las cercanías de Mulegé, B. C., Distrito Sur, estando constituído por tres eminencias de forma cónica. Las dos laterales no muestran señales de actividad de ninguna especie, en tanto que la de enmedio de cuando en cuando deja escapar fumarolas. El cráter del Volcán de las Vírgenes tiene un radio de 50 metros más o menos. En la porción inferior del mismo se nota que el terreno aparece agrietado y que a través de las aberturas se escapan vapores conteniendo azufre, mineral que por sublimación se

(23) Santiago Ramírez.—Noticia Histórica de la Riqueza Minera de México, 1884, pp. 217-230.



DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS YACIMIENTOS DE AZUFRE DE MEXICO
SIGNOS CONVENCIONALES
Capital de Estado
Puerto de Altura
Puerto de Cabotaje
Yacimientos de Azufre
Ferrocarriles
Limite Internacional
Limite de Estado
Escala = 1:6 500 000
ESTADOS UNIDOS DEL NORTE
GOLFO DE MEXICO
OCEANO PACIFICO
GUATEMALA

Fig. No. 19.

condensa en las paredes de las grietas o en el interior del cráter conteniendo los escapes fumarólicos. El azufre toma la forma de agujas cristalinas de color amarillo brillante. Se presenta también en forma bastante diseminada en los terrenos circunvecinos e inmediatos al volcán.

En una mesa situada en las cercanías del lugar descrito, hacia el NE., se encuentra otra región conteniendo azufre; el mineral se localiza entre las grietas de las rocas e invariablemente aparece acompañado de un poco de alumbre.

En años lejanos se explotó en pequeña escala el azufre de Las Vírgenes, pero siendo escasa su cantidad y como los costos por fletes hasta Guaymas, Son., eran altos, se suspendió toda actividad.

No se estima que estos yacimientos representen ningún valor comercial.

En el Distrito Norte de la Península, en la porción situada entre Mexicali y la Bahía de San Felipe se descubrieron desde hace muchos años, una serie de yacimientos de importancia muy variable, siendo de considerable valor los siguientes:

Criaderos de San Felipe.—Los yacimientos de este nombre se localizan a unos 38 kms. al sur del poblado de San Felipe, y a poco más de 235 kms. de Mexicali, población a la que se une por medio de un camino para autos, transitable cuando se encuentra seco, es decir, cuando las avenidas del Río Colorado no inundan parcialmente la planicie donde queda localizado el camino, que por otra parte, es de difícil tránsito en aquellos lugares arenosos donde los coches se hunden hasta no poder pasar. Del Golfo de California los yacimientos distan sólo unos ocho kilómetros.

En la región escasea el agua, pues se dispone de ella solamente en un pozo cercano a San Felipe, o bien en el Río Colorado, entre El Mayor y San Felipe, a ¾ de kilómetro al E. del camino.

Los depósitos de azufre se localizan en la porción SE., de un vallecillo abierto hacia el NE., con dirección al mar. El Valle en sus ejes tiene 3,000 metros de largo por 800 de anchura; se encuentra a 100 metros sobre el nivel del mar y queda rodeado por elevaciones que se levantan entre 50 y 100 metros sobre el nivel medio del valle.

La constitución geológica del terreno es bastante sencilla: la roca basal es un granito de biotita, semi-granudo. De este granito están formadas las colinas del valle. Al NE y descansando sobre los granitos, aparecen derrames de riolita. Además de las formaciones ya citadas, sobre los granitos en la porción Sur del Valle existen unos derrames de basalto. El fondo del valle se encuentra parcialmente cubierto con productos de desintegración del granito: arenisca, que muestra planos de estratificación mal definidos, creyéndose que su depósito se debió a la acumulación efectuada por agentes eólicos. Según parece la roca granítica se principió a alterar al sobrevenir la deposición del azufre, y continuó posteriormente, debido al ácido sulfúrico producido por la oxidación superficial del azufre.

Los criaderos se encuentran de preferencia en la porción sureste del valle, alineados en una faja de 2 kilómetros de largo, que corre de N35°E a S35°W, aparentemente coincidiendo con una falla, al pie de la Sierra Chica. Los depósitos de mineral aparecen interrumpidos, a intervalos, unas veces en la arenisca y otras en el granito.

Existe otra zona mineralizada en la región poniente del valle localizándose allí el lote minero "Georgina", en una área de 300 x 450 metros. Esta segunda porción mineralizada, según P. Waitz (24) se une a la primera a la profundidad, pues la considera como parte de una fractura secundaria, derivada de la dislocación que corre al pie de la Sierra Chica.

El mineral, cristalizado en su porción exterior, se presenta en formas tabulares, masivo

---

(24) **P. Waitz.—Informe inédito.**

y muy puro. Muy frecuentemente el azufre se asocia con algo de yeso; sin embargo, se pueden obtener masas de azufre nativo, puro, con peso hasta de varias toneladas.

Por lo que respecta al origen de los yacimientos de azufre, F. L. Ransome (25) cree que fueron depositados por soluciones o vapores, probablemente calientes, cargados de azufre o sulfhídrico, que ascendieron a través de grietas preexistentes y en seguida se dispersaron en las formaciones de arenisca y granito alterado. Por otra parte cree que, cuando menos parcialmente, deben su origen a manantiales hidro-termales, sulfurosos, o a solfataras y fumarolas. P. Waitz cree que el azufre de San Felipe es de origen solfatárico.

Lo que sí parece muy posible, es que el origen de los depósitos de azufre se liga a las erupciones basálticas de la porción sur del valle. Sin embargo, no se observa sobre el terreno ninguna conexión directa.

A continuación se insertan los resultados de los análisis practicados en muestras de azufre de San Felipe, hechos por E. Eisenhauer jr. y C. M. Skeats.

	1	2	3	4	5	6	7
Azufre......	52.50%	67.67%	56.00 %	69.67%	17.67%	99.02%	65.55%
Yeso.......	42.00%	1.33%	Poco	Poco	Poco		
Insoluble...	5.50%	31.00%					

Además, E. Eisenhauer jr., practicó los siguientes análisis completos:

Análisis de azufre de San Felipe, producto de retorta:

Azufre	99.71 %
Sílice	0.23 %
Sulfúrico libre	trazas
Arsénico	...
Humedad a 100° C.	0.06 %
Total:	100.00 %

Análisis del yeso de San Felipe, B. C., Distrito Norte:

SiO_2	8.03 %
CaO	29.90 %
Fe_2O_3	trazas
Al_2O_3	0.12 %
SO_3	42.80 %
Cl	trazas
H_2O	19.21 %
Total:	100.06 %

El análisis anterior corresponde, calculado como $CaSO_4.2H_2O$, yeso, a 91.80%.

De acuerdo con L. A. Jeffs (26), las reservas de mineral en los criaderos de San Felipe pueden estimarse como sigue:

Mineral extraído y listo para embarque	1,500 Tons.
Mineral probable	100,000 "
Mineral posible	Varios millones de Tons.

Así pues, cabe juzgar, con sobrada razón, que estos criaderos son susceptibles de

(25) F. L. Ransome.—Sulphur Deposits of San Felipe, B. C. (Informe inédito).
(26) L. A. Jeffs.—The San Felipe Sulphur Deposits, Lower California, México — Inédito.

producir tonelajes considerables de mineral con leyes medias de 40% a 50%. Se ha pensado en la posibilidad de obtener una producción anual de 50,000 toneladas, habiéndose observado por medio de las obras mineras existentes, que posiblemente la mineralización se extiende hasta una profundidad entre los 50 y 100 metros.

Hay 2 pozos de exploración, de 25 y 40 metros de profundidad, respectivamente, donde se ha notado que la calidad del azufre mejora a medida que se profundiza.

Según los registros correspondientes a la Agencia de Minería de Ensenada, B. C., se han solicitado propiedades mineras para explotar azufre en una región situada a 35 kilómetros al SE de Mexicali, en la Sierra del Mayor, así como en la Sierra de Cucapahs, sobre el río Hardy, a poco más de 3 kilómetros de la Tinaja del Azufre. Estos depósitos de azufre, según las investigaciones hechas, parece que no tienen expectativas comerciales.

Nieves, Estado de Zacatecas.—Durante la segunda mitad del pasado siglo se descubrió y explotó un criadero de azufre situado a unos 60 kilómetros al NE de Nieves, Zac. En la actualidad y para llegar al lugar se dispone de malas comunicaciones: de Estación Pacheco, línea México-Ciudad Juárez, por un camino para autos, distancia: 60 kilómetros. El criadero queda a sólo 7 kilómetros al SE del rancho de Tánger. La zona se localiza precisamente al N40ºE del Cordón del Azufre, en la falda oriental del cerro llamado Bordo del Cedrito.

Según un informe de E. Guerra y A. (27), la constitución geológica del terreno donde se presentan los criaderos es en extremo sencilla y queda integrada exclusivamente por rocas sedimentarias: lutitas.

El yacimiento de azufre toma la forma de una veta de estructura bandeada cuyos elementos geométricos son: N40ºE a S40º W, y 45º NW de echado; su potencia máxima llega a ser de 0.75 m., y a sólo 23 metros de profundidad se estrecha hasta tener únicamente 0.10 m. A los 31 metros bajo la superficie casi desaparece. El criadero se asocia con yeso, mineral que constituye gran parte del cuerpo de la veta, como puede observarse en las antiguas obras de explotación.

En la actualidad, y desde hace largos años, toda actividad minera ha quedado paralizada, siendo testigos de las explotaciones allí efectuadas, los comidos existentes, tiros, (uno de ellos, el número 1, alcanzó 80 metros de profundidad) socavones dados al alto de la veta, así como diversas frentes y cruceros, abiertos a distintos niveles.

El criadero, según parece, en otra época fué de alguna importancia y se explotó con más o menos intensidad, pero actualmente, ya agotado y en ruinas todos sus labrados, carece de importancia económica y sólo debe ser considerado como un lugar de interés mineralógico.

Sierra de Banderas, Dgo.—Formando parte del Bolsón de Mapimí en el Estado de Durango, queda la región que comprende Bermejillo, Tlahualillo y Conejos, dentro de la cual queda la Sierra de Banderas. Esta porción del Estado se caracteriza por su aridez durante la mayor parte del año.

Desde el punto de vista fisiográfico el Bolsón de Mapimí no es sino una inmensa planicie, cuya monotonía está interrumpida por montañas más o menos elevadas, aunque poco extensas, generalmente formadas por calizas del Cretácico medio y superior, en tanto que en la planicie se encuentran aluviones y arenas.

La escasez de agua y condiciones desérticas hacen que la flora y fauna de la región sean en extremo pobres, lo que podría remediarse por medio de sistemas de irrigación, cosa que también vendría a impulsar las operaciones mineras.

La Sierra de Banderas, donde se localizan los yacimientos de azufre, queda situada a poca distancia de la estación de Conejos, sobre la línea del ferrocarril México-Ciudad Juárez, y por lo mismo no es difícil llegar hasta aquel grupo de cerros, integrado por dos partes según E. Böse (28), quien estudió los yacimientos; la primera: Cerro Grande, se

---

(27) E. Guerra y A. — "El Azufre de Nieves, Zac.", 1940 Inédito.
(28) E. Böse — Excursión du Nord. Mines de Soufre de la Sierra de Banderas. X Congreso Geológico Internacional, México 1906.

eleva a 400 metros sobre el nivel de la planicie, en tanto que la segunda sólo alcanza 180 metros sobre el mismo plano. Las calizas de Cerro Grande son fosilíferas y se orientan al N 45° E, variando hasta N 55° W, con echado entre 25° y 45° al S. Allí solamente se encuentran huellas de azufre.

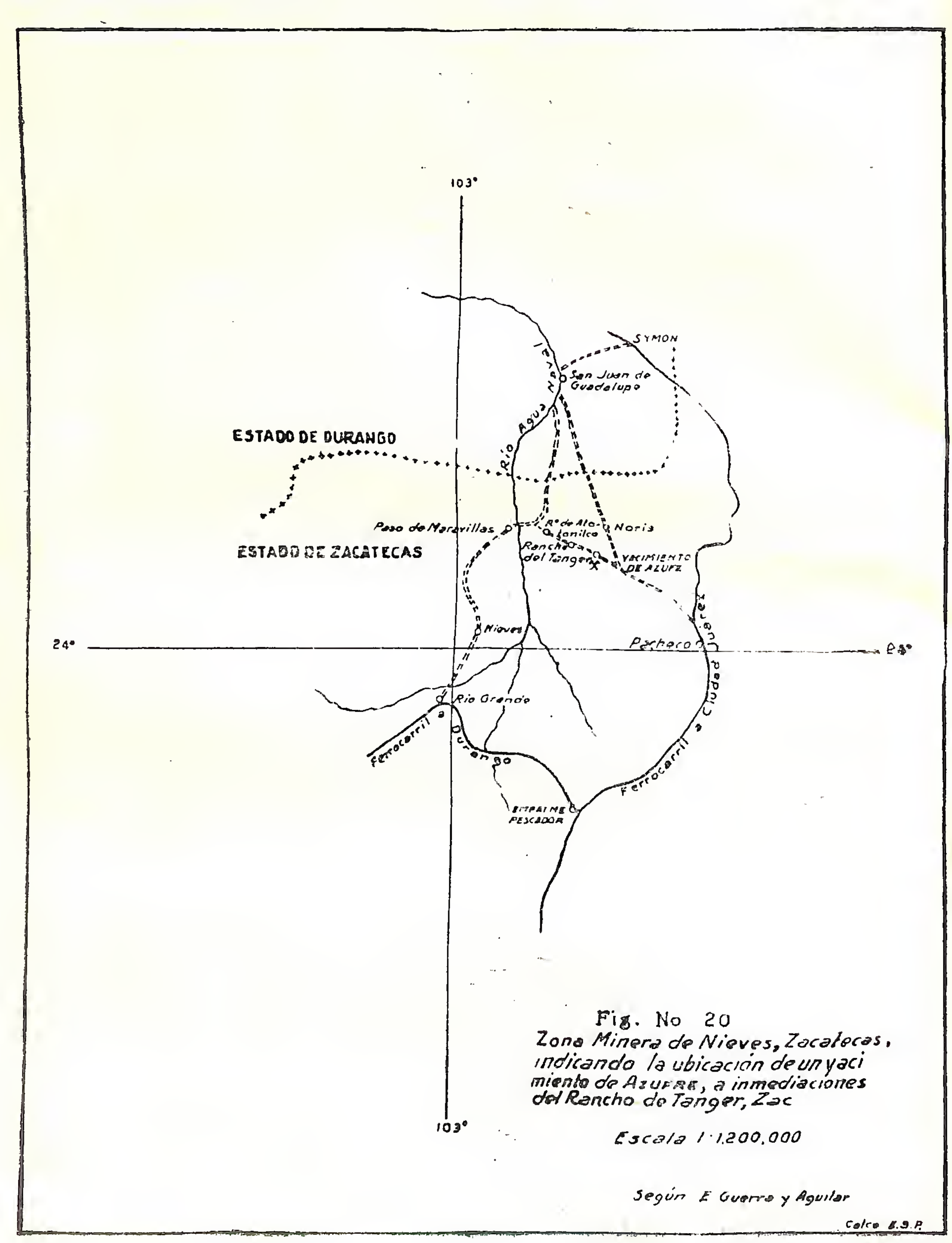


Fig. No 20
Zona Minera de Nieves, Zacatecas, indicando la ubicación de un yacimiento de Azufre, a inmediaciones del Rancho de Tanger, Zac.

Escala 1:1,200,000

En cambio en la montaña menos alta, en su porción norte, se sitúan las minas de San José y El Porvenir, labradas en calizas del cretácico medio, fosilíferas. Además se encuentran margas arcillosas y algo de brechas. Estas últimas coinciden con fallas y pueden clasificarse como un producto cataclástico. Es en esta parte norte de la Sierra de Banderas, en las minas ya citadas, donde quedan localizados los criaderos de azufre sobre la zona de fracturas ya citada, y por donde, posteriormente, ascendieron aguas manantiales.

Los criaderos de azufre aparecen en forma de vetas, venillas y bolsones, como se ilustra en las figuras respectivas.

Los depósitos rellenan grietas de formas muy irregulares, y por lo mismo, desde el punto de vista morfológico se ajustan a los accidentes presentados por las fracturas que les sirven de moldes. Originalmente las fracturas deben su origen a movimientos tectónicos, como ya se indicó; en ciertos casos, estériles por lo que respecta a criaderos de azufre, han sido agrandadas por solución hasta formar verdaderas cavernas.

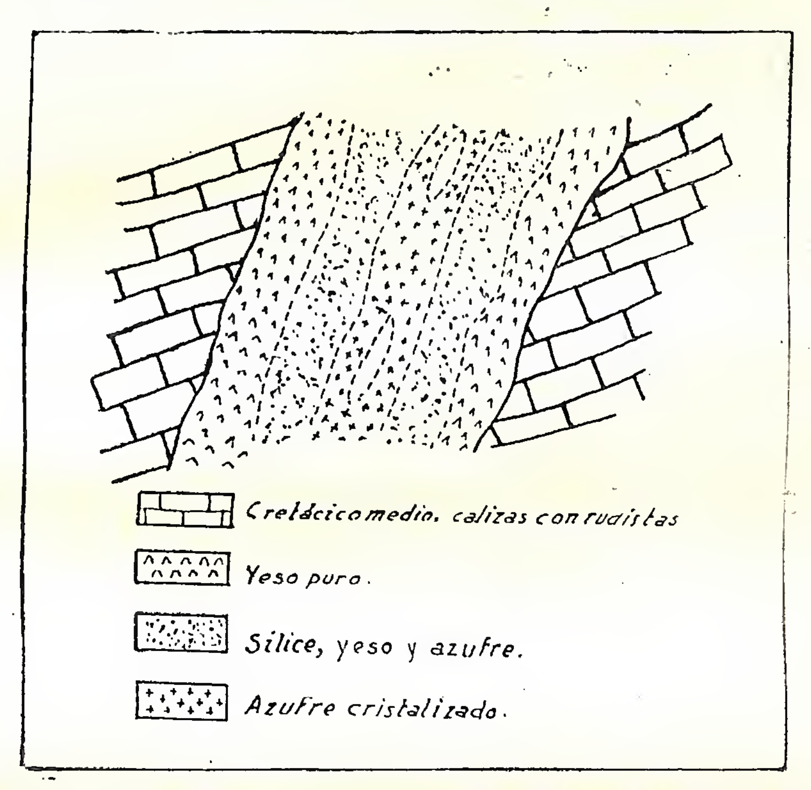


Fig. No 21.—Corte esquemático de una veta simple. Según E. Böse.

El mineral, como se ve, forma un yacimiento de estructura bandeada, como sigue: queda empotrado en calizas; la primera banda del alto está constituída por yeso puro, viniendo después una de sílice y yeso mezclado con azufre; al centro queda el azufre cristalizado. Hacia el respaldo del bajo las bandas de las formaciones guardan el orden inverso.

Böse (29), encontró que la masa principal de azufre en el criadero es criptocristalina, pero también se aprecian cavidades miarolíticas cubiertas por azufre cristalizado.

La otra forma de los criaderos se ilustra en la siguiente figura. Böse la denomina "bolsa", pero en realidad debiera clasificarse como una veta compuesta, cuya estructura no necesita explicarse, ya que por si sola se manifiesta al observar la siguiente figura integrada por una serie de bandas de yeso, sílice-yeso y azufre, y azufre cristalizado. Dentro del criadero existen cavidades rellenas o cubiertas con cristales de azufre.

---

(29) E. Böse. Loc. cit.

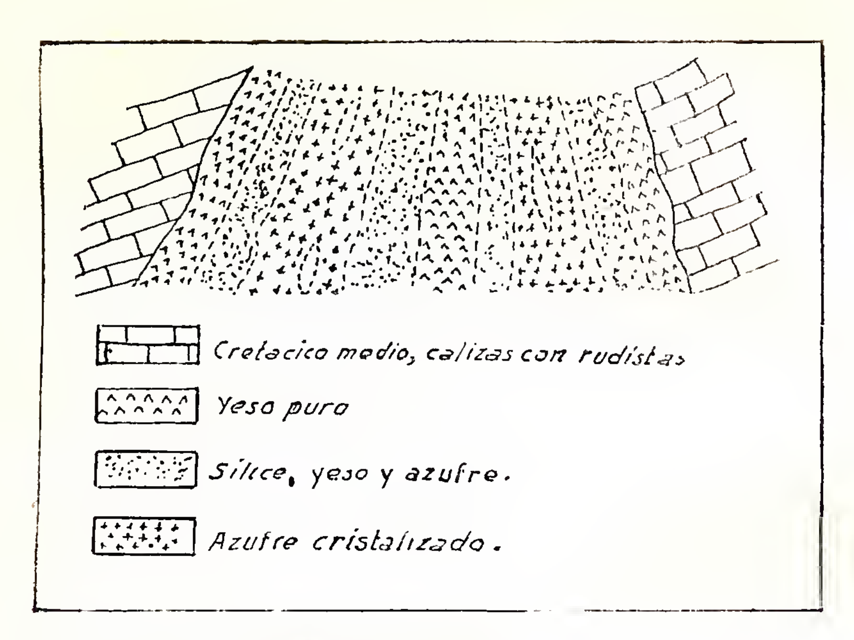


Fig. No. 22.—Corte esquemático de un bolsón. Según Böse.

El azufre del yacimiento, muy puro según análisis, sólo muestra ½% de impureza. Generalmente el porcentaje del azufre explotable en el criadero varía entre el 20% y el 50%.

Los depósitos, según parece, deben su origen a la ascensión de aguas conteniendo en solución ácido sulfúrico (30); esas aguas, circulando a través de grietas pre-existentes en la caliza, la atacaron al ascender, provocando una serie de reacciones químicas. Además, y según parece, el sulfúrico reaccionó también con el agua. En resumen, la caliza y el ácido sulfúrico dieron lugar a la formación del yeso, o sea el sulfato de calcio, de donde, a su vez, se formó el ácido sulfhídrico. De este gas y por su oxidación incompleta, se depositó azufre nativo. La parte que no fué oxidada reaccionó con el dióxido de azufre, gas resultante de la siguiente descomposición: el ácido sulfúrico con el agua da lugar a la generación de azufre, que siendo inmediatamente oxidado, forma el dióxido.

Finalmente, la reacción entre el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de azufre produjo azufre elemental.

Los criaderos descritos no se han explotado desde hace mucho tiempo, considerándose que por lo menos en sus porciones cercanas a la superficie son de importancia económica para su aprovechamiento industrial; sin embargo, al llevarse los trabajos a mayores profundidades se ha estimado que los depósitos de mineral se irán empobreciendo. Hasta la fecha las obras mineras antiguas así parecen indicarlo, pero también deben considerarse como insuficientes para juzgar la posible potencialidad de los yacimientos, que desde el siglo pasado comenzaron a trabajarse, habiendo producido cantidades considerables de azufre, parte del cual fué vendido, en 1884, en la Ciudad de México.

Sierra de La Paila, Coah.—Recientemente, en 1935, fué descubierto en la Sierra de La Paila, Municipio de San Pedro, del Estado de Coahuila, un nuevo yacimiento de azufre.

Se tienen escasos datos sobre dicho criadero, pero se dice que es de consideración y que cubre una superficie extensa. Créese que los depósitos de azufre deben su origen a manantiales de agua caliente, azufrosa, de los que se ha escapado sulfuro de hidrógeno. Dichos manantiales, tal parece, tienen que ver con fenómenos post-volcánicos.

En la Sierra de la Paila la escasez de agua es grande, lo que vino a interrumpir las

(30) E. Böse, Loc. cit.

operaciones de explotación y beneficio que ya se habían emprendido: se construyó una plantita para el tratamiento del mineral y refinación del azufre, no habiéndose alcanzado los resultados esperados precisamente por la carencia del agua suficiente para el desarrollo de las operaciones, lo cual determinó el abandono de los trabajos. La planta se construyó en las cercanías de estación Talía, de los Ferrocarriles Nacionales de México.

Habiendo tenido la compañía una experiencia como la anterior, investiga la aplicación de un nuevo método de beneficio que sin requerir el uso de tanta agua, les permite operar ventajosamente. en condiciones de poder obtener algún beneficio a pesar de las deficiencias imperantes en la Sierra de la Paila, del Estado de Coahuila.

Huascamán, S. L. P.—Geográficamente este lugar del Estado de San Luis Potosí, queda en terrenos de la hacienda de igual nombre, a 160 kilómetros de la capital de la Entidad Federativa, y a 12 kilómetros al S del pueblo de Carboneras. De Cerritos queda a 24 kilómetros. Los yacimientos son también conocidos por el nombre de "Azufre de Cerritos", por encontrarse dentro del área del Municipio de ese nombre.

Según parece estos depósitos de azufre fueron descubiertos durante el siglo antepasado, habiendo estado en explotación en diversas épocas, seguidas por períodos de largos paros y absoluta inactividad en algunas de las minas.

Para la explotación de los yacimientos se han denunciado gran número de propiedades mineras y se han abierto varias minas como las de San Pedro, Labores, Veta Rica, San Francisco, San Agustín, San Rafael, Mina de Agua, etc. Los yacimientos, casi en su totalidad, pertenecieron a la "Sulphur Mining and Railroad Co. de Cerritos, S. L. P.", que llegó a poseer 9 denuncios con una superficie de poco más de 650 hectáreas. Tiempo después casi todos los fundos de que era dueña, caducaron.

Los yacimientos quedan ubicados, localmente, entre la Mesa de Huascamán y el Puerto de las Minas; estas elevaciones hacia el valle de Cerritos disminuyen de altura, hasta convertirse en especie de montículos muy desgastados por largos períodos de erosión.

La región se distingue durante la mayor parte del año por sus características semidesérticas y falta notable de agua, elemento que de precisión debían acarrear desde grandes distancias, ya fuera para usos domésticos o industriales, durante el tiempo que se operó en las minas de azufre y planta de beneficio. El agua de las minas no siempre pudo ser usada en las calderas y demás maquinaria por ser corrosiva y destruir rápidamente las instalaciones donde se empleaba. Contrastando con la sequía descrita, durante los meses de junio a septiembre el agua que desciende de la Sierra, por los arroyos, es abundante y llega en forma de corrientes bruscas que al entrar al valle de Huascamán, donde no tienen cauces, lo inunda en gran parte y se forman ciénegas pantanosas o lagunas temporales.

La vegetación de la zona es raquítica.

Los caminos entre la estación de Cerritos, del Ferrocarril de San Luis a Tampico, y los yacimientos, son generalmente difíciles de transitar por su mal estado.

En distintas épocas y por varios investigadores estos criaderos han sido estudiados y apreciados en sus posibilidades; entre ellos se cuentan los siguientes: A. del Castillo (31) J. G. Aguilera (32), W. L. Bonney (33), L. C. Espinosa (34), E. F. White (35) y E. Wittich (36).

(31) **A. del Castillo — "Los criaderos de Azufre de México y su explotación".—Nat. I. 1869, p. 70.**

(32) **J. G. Aguilera — "Catálogos Sistemáticos y Geográfico de los Minerales de México". Bol. Inst. Geol. Nac. XI, 1898.**

(33) **W. L. Bonney — "Sulphur Mines in México" — Méx. Min. Jour., 14, No. 4 April 1912 p. 33.**

(34) **L. C. Espinosa — "Las Minas de Azufre de la "Sulphur Mining and Railroad Co. de Cerritos, S. L. P." Bol. Min. T. 5, Nos. 5 y 6, mayo y junio de 1918, pp. 582-586.**

(35) **E. F. White — "Sulphur Mining in México" Mines and Minerals, 30 No. 2, Sept. 1909, pp. 75-76.**

(36) **E. Wittich — "Apuntes Acerca del Azufre con Betún, de Las Minas de Huascamán, Cerritos, S. L. P." — Bol. Min No. 9, enero a junio de 1920, p. 614.**

E. Wittich en su estudio antes citado, se expresa diciendo sobre estos yacimientos:

"Los criaderos en cuestión representan impregnaciones inmensas de azufre, de una configuración irregular y de centenares de metros de extensión, que arman en las calizas compactas del Cenomaniano o sea del Cretáceo medio que en dicha región se manifiesta en la facies coralígena en bloques muy compactos y macizos, en los cuales no se conservó bien la estructura de los corales; solamente en muy pocos lugares se notan todavía las huellas de las formas primitivas, mientras que en ciertos bancos gruesos se presentan restos indeterminables de lamelibranquios y de otros fósiles silifificados, tal vez espongios.

"Todas estas masas de calizas han sido transformadas, en las zonas de la impregnación sulfurosa, en yeso en las partes más superficiales y en anhidrita —sulfato de calcio anhidro— en las partes más profundas. Es de mucho interés el que yo haya podido comprobar por primera vez la presencia de la anhidrita en estos depósitos, nunca observada antes, aunque no es rara, pero había sido tomada siempre por yeso; más adelante, tratando del origen del azufre, veremos la verdadera significación de este descubrimiento.

"Como siempre sucede en las formaciones coralígenas, también la dolomía se halla en aquellas calizas y, por consecuencia, en las capas descompuestas o en las eflorescencias se forma el sulfato de magnesio. Según el ensaye hecho en un caso, sube el contenido de MgO, hasta 3.77%.

"En algunos lugares de la región azufrera, donde todavía no se han emprendido los trabajos mineros, queda conservada una cinta de un metro o más de grueso, compuesta de caliza compacta con mucha dolomía, formando así una capa muy dura y más resistente, que por tal motivo no ha sido destruida por la erosión, y que representa, al parecer, un antiguo arrecife de corales. Debido a su origen orgánico, las calizas y las dolomías quedaron impregnadas con muchas substancias bituminosas de los residuos de los antiguos mariscos, desprendiendo por eso un olor empireumático, más marcado en el momento de quebrarlas o de triturarlas.

"A primera vista, el azufre negro parece una modificación metálica de este elemento, parecida a la forma que fué encontrada por primera vez por Magnus en el año de 1854; pero ensayando cuidadosamente este mineral, resulta una cantidad relativamente grande de carbono, derivado de substancias orgánicas, a las cuales el azufre debe su coloración negruzca. Damos aquí unos análisis de este material que fueron practicados por el señor doctor B. Neumann, afamado químico analítico de la Universidad de Breslau, Alemania (37).

		A	A-2	A-3
S	=	58.31	60.11	91.92
C	=	0.53	0.77	0.13
Fe_2O_3-Al_2O_3	=	1.00	1.32	0.23
CaO	=	11.85	11.18	2.76
MgO	=	0.52	3.77	0.14
SO_3	=	17.75	4.64	3.75
CO_2	=	....	10.28	....
Insoluble	=	9.72	7.64	0.72
		99.68	99.71	99.65

"Las muestras A y A-2 son de la mina de San Agustín, y la muestra A-3 es de la mina de San Rafael, de la Compañía de Azufre, hacienda de Huascamán, Cerritos.

"Resultan entonces para los sulfatos y los carbonatos de calcio y de magnesio en el caso A, resp. A-2 resp. A-3.

(37) Poggendorf Annal. d. Phys. u. Chem., 1854, 92. 308 Neumann B. Schaarzer Scheefel. Zeitschr. f. angew. Chemie, 1917, XXX. No. 51. pp. 165-169.

Ca CO_3	....	15.91	....
Mg CO_3	....	6.35	....
Ca SO_4	28.45	5.44	6.19
Mg SO_4	1.55	2.17	0.42

"La cantidad de carbono varía en este azufre natural entre 0.13% y 0.77%; o sea en este último caso calculado para una tonelada de azufre crudo, no menos que 7.7 kilos de carbono.

"La coloración de este azufre varía entre negro mate y verde negruzco, con un aspecto metálico y grasoso. Pulverizando este mineral, resulta un polvo amarillo grisáceo. Está mezclado con este azufre siempre algo de sulfato de calcio, ya sea en forma de yeso o de anhidrita.

"Se explica este fenómeno del azufre negro estudiando la génesis de aquellos criaderos en general. Es bien sabido que muchos criaderos de azufre en México se han considerado como precipitaciones sulfurosas, originadas por la descomposición del sulfhídrico en el contacto con el oxígeno atmosférico. En el trabajo citado del doctor Neumann, este autor menciona otras reacciones, en las cuales se precipita el azufre por descomposición de H_2S: disociación del H_2S, efectuándose entre 400° y 1,700°, según la reacción siguiente: $2H_2S + SO_2 = 3S + 2H_2O$.

"Pero los fenómenos observados en los criaderos de Huascamán, prueban su origen absolutamente distinto. Primero, en todos estos depósitos no se nota ningún desprendimiento de sulfhídrico, ni en las labores más hondas; segundo, en todas las descomposiciones arriba mencionadas, se forma algo de agua y en el caso de la transformación de las calizas en sulfatos, tiene que resultar siempre el yeso: Ca $SO_4 + 2H_2O$; pero no es así en el caso en cuestión, pues la matriz en las zonas más profundas es la anhidrita, o sea Ca SO_4. Si esta anhidrita queda por algún tiempo expuesta a la humedad atmosférica, comienza a transformarse en yeso, o sea el hidrosulfato de calcio. Por este motivo, se nota que las rocas sacadas de las minas y usadas en las construcciones de la superficie, están ahora como rajadas o torcidas o inflamadas, con huecos y oquedades; también las paredes de los socavones y tiros presentan un aspecto parecido. Faltan entonces los dos factores, H_2S y H_2O, en la formación de los mencionados criaderos; quédanos así la única suposición de que estas enormes masas de azufre no son otra cosa sino productos de exhalaciones de vapores de azufre, que probablemente no lograron subir hasta la superficie; los criaderos son, pues, formaciones intratelúricas, seguramente a consecuencia de fenómenos volcánicos o de intrusiones subterráneas. Por tal motivo, el aire atmosférico no tomó parte en esas reacciones y tuvo que formarse la anhidrita y no el yeso. La falta absoluta del sulfhídrico en todos estos criaderos, significa una ventaja sumamente favorable para la explotación, permitiendo profundizar las minas hasta 50 metros o más; también es de notarse que ni en la roca ni en el azufre macizo se hallan inclusiones de gas H_2S o de SO_2. Así pues, hay que suponer que las exhalaciones fueron de azufre puro, lo que es un fenómeno no raro en lugares de actividad volcánica. En las hendiduras posteriores, que cruzan los depósitos, se ven los respaldos revestidos por cristalizaciones secundarias de yeso de grandes tamaños; de vez en cuando estos cristales llegan a 10 cms. de largo, incluyendo en ciertas zonas cristalográficas, pegaduras finas de azufre amarillo, como lo he descrito ya anteriormente.

"Otro problema distinto es la impregnación del azufre con las substancias bituminosas y con el carbono. Como ya hemos dicho más arriba, las calizas cenomanianas están rellenas de materias orgánicas, los productos de descomposición de los cadáveres petrificados, a tal grado que mucho contribuyeron estos a la formación de los grandes depósitos de betún, chapopote y petróleo, que han sido encontrados en las partes bajas de la región costeña.

"Cuando la exhalación de vapores de azufre se efectuó, a consecuencia de los fenómenos plutónicos, volatilizó también la substancia orgánica de las calizas bituminosas; es de suponer que este procedimiento de destilación tuvo lugar en el interior de la tierra, no cerca de la superficie, sino a cierta profundidad y sin comunicación con el oxígeno

de aire resultando así imposible o insuficiente la oxidación del azufre y de los hidrocarburos.

"En las zonas más cercanas a la superficie tuvo que condensarse el vapor de azufre, precipitándose al mismo tiempo el carbono como residuo del bitumen, y la caliza sedimentaria se transformó en anhidrita compacta, como la encontramos en las labores más profundas de aquellas minas.

"A primera vista, la cantidad del carbono contenido en el azufre parece insignificante, pues su máximo es de 0.77% solamente; pero este 0. 77% representa en una tonelada no menos de 7.7 kilos de substancia carbonosa, y una tonelada de azufre nativo es mucho menos que un metro cúbico. Calculando que en total el volumen del azufre en estos criaderos llega a muchos miles de toneladas, resultará entonces una cantidad enorme de carbono, que representa el résiduo de masas todavía mayores de hidrocarburos. Cantidades tan considerables indudablemente no pueden ser consideradas sólo como impurezas, sino que representan el contenido de substancias orgánicas de masas grandísimas de calizas fosilíferas.

"Por otra parte, en la región costeña hay petróleo crudo con un alto porcentaje de azufre y de sulfhídicro, llegando en el campo de Pánuco hasta 5.1%, o sean 50 kilos por tonelada. Es todavía un problema el averiguar la procedencia de estas contidades de azufre, que no parecen solamente un producto de descomposición de la materia orgánica, sino que el alto contenido de azufre tal vez indica una influencia de exhalaciones de gases sulfurosos. Al parecer, existen relaciones genéricas entre los dichos criaderos de azufre con mucho betún y carbono y la destilación natural de petróleo crudo con mucho azufre, cosa que ya está puesta de manifiesto por la presencia de depósitos de azufre en las cercanías de pozos productivos de petróleo, observado éste en muchos lugares en Texas, Louisiana y otros más. Son tan frecuentes estos fenómenos paragenéticos, que la presencia de azufre se considera como un indicio seguro de petróleo también.

"Hasta estos días la edad geológica de los criaderos azufrosos todavía no está determinada, sabemos solamente que ellos arman en el Cenomaniano; queda todavía en pie aclarar, cuáles rocas intrusivas han causado el desprendimiento tan enorme, de volumen de gases de azufre".

Así pues, de acuerdo con los autores ya citados en un principio, parece que el mineral se presenta en bolsones, acumulado en grietas, o bien rellenando cavidades en formas muy irregulares, donde el azufre queda ocupando la porción central, teniendo a los lados una estructura bandeada, formada por las siguientes formaciones: sílice, yeso y azufre impuro. El yeso mezclado con azufre, según análisis hechos alcanza a tener hasta 50% de azufre.

Cabe agregar, en relación con lo expresado en el párrafo anterior, lo que sobre el particular dice L. C. Espinosa (38).

"Junto a la caliza dura, apizarrada, del respaldo, aparece una capa de yeso; después otra de sílice impura con arcilla, yeso y azufre; luego una capa del azufre puro; a continuación otra de sílice impura con arcilla, yeso y azufre, y por último, una capa de yeso junto al respaldo.

"En las capas de yeso de los respaldos, suelen encontrarse cavidades tapizadas de cristales de yeso sobre los cuales hay cristales de azufre muy hermosos, o grandes tramos en que el yeso es azufroso, llegando a contenidos hasta de 40% y 50% de azufre.

"Cuando el criadero sufre ensanchamientos o se presenta en verdaderas bolsas, la disposición descrita es la misma, repitiéndose una o varias veces, según la anchura".

La producción obtenida de estos criaderos ha sido extraordinariamente variable, de acuerdo no con las necesidades que el país tiene de azufre, sino que han sido factores determinantes para la producción obtenida, los largos paros y consiguiente ruina o destruc-

---

(38) Loc. cit.

ción de las instalaciones y obras mineras; otras causas han sido la sequía prolongada de la zona, o bien las situaciones de inseguridad creadas a raíz de los movimientos armados.

Así, por ejemplo, en 1865-1866 la producción mensual fué de 56,250 kilos de azufre refinado, o sean 675 toneladas anuales. Durante el período de actividades correspondiente a 1912 se obtenía un promedio de 800 toneladas por mes, o sean 9,600 anualmente, con un costo de $60.00% por ton., puesta a bordo del ferrocarril en la estación de Cerritos, sobre la línea de San Luis Potosí a Tampico.

Es notable el contraste que ofrece la comparación de las cifras anteriores con las estadísticas de producción correspondientes a los años de 1933 a 1938, hasta mayo del último año. Con fecha 5 de noviembre de 1938 la falta de agua obligó a la empresa a suspender sus atcividades. La producción se obtuvo de una sola mina, la de "El Fénix", y es como sigue:

Año.	Tons. de azufre refinado producidas.
1933	767
1934	860
1935	4,733
1936	310
1937	268
1938 (enero a mayo)	219
T O T A L :	7,157

En la última época de actividad las minas y los criaderos eran operados por la actual concesionaria: "Minas de Azufre El Fénix y Anexas".

Los métodos tanto de explotación como de beneficio en las minas de azufre de Huascamán han variado notablemente en los distintos períodos de su historia: al principio, cuando las operaciones se llevaban en pequeña escala, los métodos de los nativos eran rudimentarios: sus trabajos mineros eran hechos a tajo abierto y abriendo pequeños socavones de donde sacaban el mineral, que, calentándolo, provocaban la sublimación del azufre para condensarlo en recipientes de barro. En sus obras mineras los indígenas procuraban seguir las zonas mejor mineralizadas.

Fué hasta 1909 cuando quedó instalada una planta de reducción que para el tratamiento del mineral contaba con calderas tubulares de 100 H. P., capaces de producir vapor a 60 libras de presión por pulgada cuadrada. Los hornos, con capacidad para 200 toneladas, trataban mineral con 35% y 40% de azufre. Se llegó a trabajar con mineral hasta de 20% de azufre, alcanzándose una producción diaria que oscilaba entre 50 y 75 toneladas en 24 horas, rindiéndose un producto con 99% de pureza.

Popocatépetl, Estado de México.—El volcán de este nombre forma parte de las altas montañas que perteneciendo a territorio del Estado de México, se encuentra hacia el sureste de la ciudad de México, siendo parte de las unidades de relieve que circundan la cuenca del Valle de México, es decir, queda a poca distancia de la ciudad de México.

La descripción de este aparato volcánico es interesante desde todos puntos de vista, y fué hecha por J. G. Aguilera y E. Ordóñez (39). Nuestro propósito no es hacer un resumen de los estudios que sobre el particular efectuaron los investigadores ya citados, y por lo mismo, nos concretaremos tan sólo a lo que concierne a los criaderos de azufre allí existentes.

Desde el tiempo de la Colonia los españoles principiaron a estudiar las caracterís-

(39) J. G. Aguilera y E. Ordóñez — Comisión Geol. Mex. "Expedición científica al Popocatépetl" 1895.

ticas de ese gran volcán, y posteriormente al descubrimiento de que en el interior de su cráter existían criaderos de azufre, se inició durante el siglo pasado la explotación de dicho elemento, aunque en pequeña escala debido a las grandes dificultades que había para ascender al cráter y después descender al interior del mismo para extraerlo. Las cantidadas obtenidas nunca fueron de consideración, pues además de ser difícil y costoso el trabajo, la cantidad de mineral es relativamente escasa.

En 1896, J. G. Aguilera y E. Ordóñez al hacer sus investigaciones sobre el volcán, advirtieron que por aquella época se encontraba en su período solfatárico, el cual dura hasta nuestros días, habiendo escapes de vapores con temperaturas de casi 100° C.; el escape de sulfuro de hidrógeno es abundante, así como el vapor de agua y ácido sulfuroso. El número de fumarolas ha variado en diversas épocas, así como la cantidad de gases que se escapan. Sin embargo, parece que los escapes principales se han manifestado de preferencia al pie o en las inmediaciones de los bordes NW y SW del cráter.

El azufre, según parece, se ha depositado por procesos de sublimación, y por la oxidación incompleta del sulfuro de hidrógeno y del ácido sulfuroso. Los depósitos se presentan bajo varias formas, ya sea impregnando las paredes y huecos de las lavas del cráter, principalmente en la proximidad de las fumarolas, o bien formando masas concrecionadas, a las que los antiguos trabajadores llamaron "azufre flor". Las otras formas aparecen ya sea en costras semifofas y de estructura celular, conocidas como "azufres espumilla", o bien en forma de agujas, denominadas "pajillas". Con frecuencia el azufre elemental del Popo se encuentra mezclado con impurezas, y en tal caso se le denominaba simplemente "tierra de azufre". Cuando los antiguos exploradores encontraban acumulaciones de más o menos consideración les llamaban "vetas", y en ese caso lo tumbaban directamente, en vez de provocar la condensación de los vapores, usando vasijas de barro.

La cantidad de azufre acumulado en el cráter del volcán no es de consideración, y por lo mismo, para las necesidades industriales del país, aun cuando se contara con facilidades para su explotación y transporte, sería de escaso valor económico.

Taximaroa, Mich.—La descripción de los yacimientos de azufre de la zona volcánica de Taximaroa, en el ex-Distrito de Zinapécuaro, al suroeste de Maravatío y próximos a Ucareo, Mich., fué hecha por el Sr. S. Ramírez (40), expresándose en la siguiente forma:

"En la soberbia cordillera, que por sus altas y numerosas montañas está formando la pintoresca serranía que hace notable al Estado de Michoacán, se encuentra al fin de un hermoso camino que serpentea entre los enormes oyameles que forman bosques al parecer interminables, una hondonada rigurosamente plana, donde está establecida una negociación de alguna importancia y de mucho porvenir, situada en un punto designado con el nombre de El Agua Fría, perteneciente a la Municipalidad de Taximaroa del Distrito de Zinapécuaro.

"Entre los cerros a cuyas faldas se extienden estos terrenos, sobresale por su mayor altura, el cerro de San Andrés; pero en nuestro concepto son más notables los cerros de Las Humaredas y de Los Azufres, por lo curiosos e interesantes fenómenos que presentan y por la riqueza que contienen.

"Sobre una mesa de pizarra arcillosa que alterna con una marga terrosa y endurecida, en capas que tienen una inclinación de 75° al E, se eleva la enorme masa traquítica que constituye el Cerro de Las Humaredas, llamado así por las espesas y constantes columnas de humo que se distinguen desde lejos y que están revelando la existencia de sus interesantes fumarolas.

"Este humo, cuya temperatura es de 82° a 85° C., está formado por el vapor de agua, que contiene en cantidad apreciable vapor de azufre y ácidos sulfuroso y sulfhídrico; estos vapores al pasar por las rocas que se encuentran en el cráter, las alteran en el orden de sus afinidades respectivas: desde luego, como antes de su desprendimiento a la

(40) S. Ramírez. — "Riqueza Minera de México" — 1884, pp. 219-227.

atmósfera, atraviesan la masa de agua que contienen los manantiales de donde se desprenden —hervideros— la evaporan, descomponiendo su vapor, y formando en esta descomposición los ácidos sulfúrico y sulfhídrico; el primero de los cuales, encontrándose en contacto con la alúmina y el óxido de fierro, forma un alumbre de fierro que se ve depositado en las orillas.

"Las referidas columnas de humo, después de ascender uno o dos metros, son arrebatadas por la corriente del aire frío —que por el desequilibrio de temperatura es constante— condensándose en seguida y depositando en las oquedades y en toda la extensión del cerro, azufre que resulta de la condensación del vapor de azufre y de la descomposición del ácido sulfhídrico, presentándose en el primer caso distintamente cristalizado, y en el segundo pulverulento. Además de esta diferencia, es notable la que presenta el color, que en el primer caso es amarillo de limón, y en el segundo, amarillo pajizo. De estas fumarolas se encuentran cinco principales en la parte NE del cerro.

"El agua de estos hervideros es limpia cuando está asentada, y se enturbia algo al agitarse, por los pocos sedimentos que contiene. Su sabor es ferruginoso.

"Al SO de estas fumarolas y sobre el mismo cerro se encuentra el volcán del Chillador, llamado así a causa del ruido que produce la columna gaseosa al salir, cuyo ruido es comparable al que en una caldera de vapor engendra éste en su salida, siendo mucho mayor su intensidad. La roca en que este volcán está abierto se encuentra completamente cubierta de azufre; la columna gaseosa de las fumarolas se eleva a 3 metros de altura y tiene una temperatura de 91°C.

"En este punto fueron más fuertes los temblores, más intenso el ruido y más marcados los efectos; pues a 80 metros de distancia del cráter y en la línea que lo une con las fumarolas antes consideradas, se abrió un nuevo respiradero, 30 metros más bajo, que los vecinos designaron con el nombre del Chillador Nuevo; en éste, la columna de humo es más densa, se eleva a mayor altura relativa y produce un ruido más intenso y más variado; en los bordes esta abertura es sensiblemente circular y de 1.10 metros de diámetro; las rocas que se encuentran en ella, y las que la rodean en un radio de 15 metros, contienen gran cantidad de azufre y lavas en el estado pastoso, lo que hace suponer que al formarse este respiradero hubo una pequeña erupción en la cual las rocas que por su mayor peso, por su mayor adherencia, o por no haber sido expulsadas por el centro de la columna saliente, se elevaron a poca altura y cayeron en el centro donde las encontramos confusamente amontonadas. En su contacto quedaron varios huecos merced a la irregularidad de su forma y el desorden de su colocación, por cuyos huecos salía el gas, dando así lugar a los diferentes tonos observados en ese ruido, produciendo esa variedad señalada, que no por dejar de ser armoniosa deja de ser agradable.

"Separando las piedras, con lo que se da más amplitud a los orificios de salida, varían la intensidad y el tono del ruido.

"En diferentes puntos de esta montaña, y en una zona que sensiblemente sigue la dirección de la línea volcánica indicada, se ven salir columnas de humo que a primera vista parecen depender del calor que conservan las lavas aún en fusión; pero separando las piedras que cubren este punto y ahuecando un poco, se oye el ruido y se ve crecer la columna de vapor de agua que, al condensarse, moja los objetos que se interponen a su paso. En diversos puntos de esta región la blandura es tan grande, que al pisar se hunde la planta, y el calor es tan intenso, que no se puede soportar, sin embargo del calzado grueso que se acostumbra usar en estas expediciones.

"Al SE del cerro de las Humaredas se eleva el de El Currutaco, en cuya falda O. está el cráter que lleva este nombre, y que es uno de los más notables de esta región.

"Este cráter afecta una forma elíptica, bastante regular, cuyo eje mayor, que mide 26.80 metros, se extiende en la dirección de NE 50° SO. A los 16.80 metros, del eje mayor, el menor, que tiene 7.50, está comprimido, extendiéndose allí un tabique vertical, que como una línea de división hace sospechar a primera vista que son dos cráteres unidos, pero cuando este tabique se examina con detenimiento, se reconoce con facilidad que es un depósito de lava endurecida por el contacto del aire.

"Al NE y a un nivel dos metros más bajo, hay una oquedad elíptica de 5.75 metros, que contiene cinco manantiales de agua cargada de azufre.

"En una hondonada que se extiende en la parte O del Cerro de los Azufres, hay una espaciosa laguna, que por su situación topográfica y más aún por su naturaleza, es llamada Laguna de los Azufres. Sus aguas, que hierven sin cesar, dejan desprender vapor de agua y de azufre, cuya substancia se condensa en las orillas y a diferentes distancias, formando en las grietas de las rocas azufre puro y cristalizado.

"El mineral es de color amarillo subido, que pasa a amarillo de limón, es lustroso, de lustre de diamante en las caras de cristalización, y poco lustroso en las partes no cristalizadas; suena de un modo particular al cortarlo, y se disgrega sin quebrarse; tiene un olor particular, perceptible al aire libre, que se exalta cuando se frota.

"También se encuentra un azufre amarillo pajizo, pulverulento que tratado al soplete exhala el olor de ácido sulfhídrico y deja un residuo de impurezas; este azufre, según nuestro juicio, se ha formado por la descomposición del ácido sulfhídrico.

"Al NO del Cerro de los Azufres, y próximamente a la distancia de un kilómetro, se encuentra en terrenos pertenecientes a la Hacienda de Jaripeo, el cerro del Chino, que forma parte del Cerro del Gallo; allí hay seis hervideros cuyas aguas, cargadas de azufre, tienen la temperatura media de 80° C.

"Siguiendo la misma dirección y a la distancia de una legua, está el Volcán del Gallo, cuya posición relativamente a los otros volcanes, así como su aspecto general, hacen comprender que es uno de los más importantes.

"En la falda del cerro hay una hondonada elíptica cuyos ejes son de 100 y 70 metros, prolongándose el mayor por ambos lados, y perdiéndose en las barrancas tortuosas que parecen haberse abierto por las lavas en el instante del levantamiento: en su centro están los respiraderos por los que se desprende el azufre.

"Al O del Volcán del Gallo, y a 800 ó 1,000 metros de distancia, está el elevado cerro del Palmar, en cuya cima se distingue el volcán de este nombre, abierto en una masa de traquita sobrepuesta a la pizarra, y que en su parte superior está de tal manera alterada, que presenta el aspecto general de un conglomerado cuyas partes elementales son: la traquita misma descompuesta, en fragmentos agudos y romos, en cuya textura reciente se distinguen dos partes esencialmente diversas: el núcleo en que se observa los caracteres propios de la roca, y la costra exterior, en cuyo espesor de 3 a 4 milímetros está afectada por la acción del azufre, el sulfato de fierro y demás agentes volcánicos desprendidos en los vapores.

"El cráter de este volcán presenta tres aberturas en la dirección de E a O, siendo sus diámetros de 1, 1.70 a 4.25 metros además de otros pequeños respiraderos en número de quince, que contienen agua ferruginosa y sulfurosa, cuyo vapor está a 82° C y de donde se desprende azufre.

"El grupo de volcanes existentes en esta parte de la Serranía de Jaripeo, está terminado por el de Marítaro, abierto en la falda O del cerro de este nombre; tiene veintisiete respiraderos, de todos los cuales sale azufre en abundancia, que se encuentra en grandes depósitos a las orillas y en todo el cráter. Abunda también el sulfhídrico, cuyo olor característico se siente desde lejos.

"Al NE de Marítaro, y 58 metros más baja , está la Laguna Verde, llamada así por el color de sus aguas fuertemente impregnadas de azufre y cuyo fondo está cubierto casi en su totalidad por piedras de azufre, mezcladas con tierra vegetal y con una arcilla impregnada del mismo metaloide.

"Esta laguna está situada en una hondonada elíptica, cuyo eje mayor tiene la dirección NE 10° SO.

"A la orilla, y siguiendo las ondulaciones del contorno, hay un gran depósito de azufre pulverulento de un color amarillo pajizo. En las grietas del exterior hay depósitos de azufre cristalizado.

"Además de estos manantiales —llamémosles así— de azufre volcánico, se encuen-

tran en el cerro de Los Azufres unos bancos, a corta profundidad, dos de los cuales produjeron 10,400 arrobas de azufre refinado.

"El metal de azufre, como lo llaman los explotadores, es fundido y por destilación se separan sus impurezas.

"La explotación de este azufre alimenta una fábrica de pólvora establecida en el Agua Fría, cuya pólvora surtía en la época a que estos datos se refieren, todas las minas de El Oro y la mayor parte, si no todas, las de Tlalpujahua y Angangueo".

En la actualidad, y desde hace muchos años, no se explota el azufre de la región de Taximaroa, susceptible de rendir mineral de buena calidad y en cantidades de consideración, mediante la inversión del capital indispensable para caminos, trabajos de exploración y obras de explotación; sin embargo, debe hacerse notar que no es posible apreciar la importancia real de estos depósitos de azufre, debido precisamente a que no han sido investigados desde un punto de vista minero- económico para determinar su valor potencial. Lo anterior, así como los trabajos de explotación que llegarán a emprenderse si se afirma su posibilidad positiva, se facilitará grandemente gracias a las rápidas vías de comunicación disponibles actualmente en aquellas regiones.

Chacahua, Oax.—Todos los datos que existen de estos yacimientos de azufre son escasos, pues según parece nunca han sido estudiados. Ultimamente y con motivo de la construcción del ferrocarril que unirá Chacahua al resto de la red ferroviaria del país, se ha hablado de que los criaderos son de importancia.

Chacahua es un pequeño pueblo que se localiza en la bahía del mismo nombre, en la costa del Estado de Oaxaca, a 140 kilómetros directamente al sur de Tlaxiaco, Oax., estando entre las desembocaduras de los ríos Grande, al E, y Verde al NW, a distancias de 22 y 35 kilómetros respectivamente. El poblado de Chacahua queda en una barra, entre la laguna y la bahía de su nombre, y se distingue porque frente a él, en Punta Galera, se levanta el Cerro de La Galera, de 96 metros de altura y separado del poblado por el canal de la Laguna de Chacahua.

El cerrito de Punta Galera es un pequeño volcán extinto donde, y debido a fenómenos post-volcánicos: acciones solfatáricas principalmente, se acumuló el azufre de los criaderos allí localizados. Por otra parte se cree que también deban su existencia, en cierto modo, no sólo a la oxidación del sulfuro de hidrógeno que escapó por las fumarolas, sino que, parcialmente por lo menos, se originaron por fenómenos de sublimación al estar saliendo gases conteniendo vapores de azufre.

No se tiene conocimiento de la importancia potencial del criadero, o de la calidad del mineral, sabiéndose únicamente que es bastante puro.

Isla del Socorro, Col.—De esta Isla, situada entre los 18º40'4" y los 18º59'3" de latitud norte, y los 110º50' y los 111º16' de longitud al W del meridiano de Greenwich, en el Océano Pacífico, a 750 kilómetros casi al W del puerto de Manzanillo, Col., se tienen muy pocos datos tanto de sus recursos naturales como de cualquiera otra índole. Sí se sabe, por distintas personas que han estado allí, que la isla es de constitución volcánica y bastante quebrada desde el punto de vista fisiográfico. No está poblada.

Tocante a sus yacimientos de azufre, son debidos a fenómenos post-volcánicos, formados por acciones solfatáricas que permitieron el escape de sulfuro de hidrógeno y que por procesos de oxidación depositaron azufre, elemento que se cree debe también su origen a la condensación o sublimación de vapores de azufre escapados durante las últimas manifestaciones de actividad volcánica. Algunos han creído que, cuando menos parcialmente, también intervinieron en la formación de los criaderos de azufre de la Isla del Socorro, manantiales hidrotermales, azufrosos.

Se ha asegurado insistentemente por quienes han visitado la isla, que las manifestaciones de azufre no sólo son numerosas, sino que se trata de depósitos importantes, capaces de producir una cantidad considerable de mineral.

Istmo de Tehuantepec.—Se ha hecho notar en varias partes de esta Memoria que desde el descubrimiento del método de Frasch, la explotación de los yacimientos de azufre

tanto del tipo siciliano como del tipo volcánico quedaron relegados a segundo y tercer término, pues vino la increíble producción de los criaderos en forma de domos.

En México, a raíz de las exploraciones geológico-petroleras hechas en diversas épocas en la región del Istmo de Tehuantepec (41), se descubrieron a principios del siglo estructuras en forma de domos salinos y conteniendo yeso con abundante azufre, exactamente como ocurre en los casos descritos en Louisiana y Texas, E. U. A., que en la actualidad son los más fuertes productores de azufre en el Mundo.

La semejanza de los domos salinos de los Estados Unidos y los de México es parecida hasta en sus posibilidades para explotar otras substancias, como potasa, que también tienen.

Al perforarse las estructuras que en el Istmo de Tehuantepec se creyó que serían productoras de petróleo, en algunas sólo se encontró sal, yeso y azufre, siendo abandonadas al no obtenerse aceite mineral. De entre los domos explorados, de forma alargada que parecen coincidir con ligeros anticlinales, en cuatro de ellos quedó comprobada la existencia de azufre, en tanto que por lo que toca a petróleo, éste se encontró en nueve domos que estuvieron o aún están en explotación, en los casos donde aún no se agota el petróleo. Además de los 13 domos ya mencionados, se han descubierto 7 más.

Según los datos obtenidos en las perforaciones hechas, se ha llegado al conocimiento de que la capa conteniendo azufre, mineral que se asocia con yeso y caliza, es bastante uniforme en los domos donde se ha probado que existe.

A continuación se hace una ligera descripción de los principales domos salinos del Istmo de Tehuantepec que contienen azufre.

Domo de Potrillos.—Según los datos históricos de la industria petrolera de la región del Istmo, fué en Potrillos, y sobre el domo de ese nombre, donde primero se comenzaron los estudios y perforaciones en busca de petróleo; esto era en 1902, cuando la casa Pearson inició sus trabajos, habiendo hecho una serie de perforaciones, que, una vez terminada la correspondiente al pozo número 8, fué abandonada por no haberse encontrado aceite mineral. Hace pocos años se volvió a investigar el domo de Potrillos, empleando métodos geofísicos, encontrándose que la estructura tiene 3 kilómetros de largo por 2 de anchura.

Cuatro de las ocho perforaciones hechas a partir de 1902 dieron con el horizonte conteniendo la formación de azufre. J. D. Villarello (42), quien visitó el campo al hacerse la perforación del pozo número 1, proporciona el siguiente corte geológico para el mismo:

Marga	de los	0	a los	73.20	mts.
Agua salada			"	84.89	"
Marga gris			"	91.50	"
Marga gris			"	106.75	"
Chapopote flúido			"	115.90	"
Marga gris		125.00	"	143.35	"
Arena con poco chapopote			"	164.70	"
Marga gris			"	169.27	"
Arena con poco chapopote			"	170.80	"
Marga gris			"	195.20	"
Arena con chapopote duro.........			"	208.95	"
Arena con chapopote duro			"	216.55	"
Marga gris y arena con poco chapopote			"	221.00	"
Marga gris			"	228.22	"
Arena con chapopote			"	233.00	"
Arenisca con poco chapopote		245.02		247.35	"
Marga gris en partes dura y en otras blanda		250.10	"	305.00	"
Arcilla plástica gris			"	356.00	"

(41) F. Deschamps — Revista de Ingeniería, Nov. y Dic. 1937.
(42) J. D. Villarello — Instituto Geol. de México, Bol. No. 26, 1908, p. 78.

En las formaciones encontradas no se descubrió azufre, como tampoco se logró al perforar los pozos números 2, 3 y 5, inmediatos. Sin embargo, al efectuarse las perforaciones de los pozos números 4, 6, 7 y 8, en la porción más elevada del domo, al penetrar la cubierta se encontró la zona conteniendo azufre, cosa que ocurrió muy especialmente en el pozo número 6, en el que se tropezó con una "veta" de 3.65 metros de espesor, así como otros cuerpos de menor importancia, en forma de lentes delgadas, contenidas en dolomita. Los centros de la perforación del pozo número 7 mostraron entre las profundidades de 216 y 267 metros, especialmente en su porción superior, calizas y dolomitas con azufre.

Al juzgar los cortes geológicos de las 4 primeras perforaciones en Potrillos se ve que en ningún horizonte alcanzaron rocas como calizas y dolomitas, que forman precisamente la cubierta del domo; se deduce, en consecuencia, que si hubieran sido profundizados habrían alcanzado, al cortar dichas formaciones, las capas conteniendo el azufre nativo.

Existen dos hechos que revelan la gran importancia del domo de Potrillos como criadero de azufre: en primer lugar, que no obstante el hecho de haberse perforado los pozos números 4, 6, 7 y 8 bastante alejados entre sí, todos cortaron la cubierta del domo y encontraron el horizonte calizo-dolomítico que contiene la riqueza de azufre; en segundo lugar, y para juzgar la potencialidad del mismo por lo que a espesor respecta, está el hecho de que en el pozo número 6 la llamada "veta", impropiamente, tenga un espesor de 3.65 metros.

Domo de Jaltipan.—La estructura conocida con este nombre se localiza hacia el Sur de la de Potrillos, a poca distancia. Dos años después de haber comenzado Pearson las perforaciones en Potrillos, en 1902, se principió a perforar a unos 300 metros al Sur de la estación de Jaltipan, del ferrocarril del Istmo.

Según parece desde el punto de vista petrolero las perforaciones fueron negativas pero en cambio sí se encontró una potente capa de caliza y dolomita conteniendo azufre elemental. Con la perforación iniciada en 1904 se penetró la cubierta del domo, pero según los datos disponibles ninguno de los otros pozos perforados fué lo suficientemente profundo para alcanzar hasta las rocas sedimentarias: calizas y dolomitas. W. ver Wiebe (43), después de examinar la columna geológica obtenida en la perforación que alcanzó la cubierta del domo, se expresa de la manera siguiente: "Dicho pozo no se llevó a gran profundidad, sino que solamente penetró la cubierta de otro tapón de sal. Entre los 195 y los 278 metros se registró caliza y azufre, junto con algo de marga azul; abajo de dicha profundidad, hasta los 292.5 metros, se encontraron únicamente materiales propios de la cubierta. Al llegar a los 292.5 metros la perforación se abandonó al llenarse el pozo con agua salada". De cualquiera manera, y para los fines de esta Memoria, fué de inmenso valor la perforación que se viene describiendo, al quedar comprobada la existencia del azufre, contenido en una potente formación de caliza con espesor de 83 metros. Además, el mismo Ver Wiebe hace notar en sus observaciones que las formaciones azufrosas de los domos salinos de Potrillos y Jaltipan, son semejantes.

Desde su abandono en 1906, al no haberse encontrado petróleo, el domo salino de Jaltipan no ha vuelto a ser investigado.

Domo de San Cristóbal-Capoacan.—Históricamente este domo salino es de importancia por los trabajos y descubrimientos que en él se hicieron desde 1904, cuando se iniciaron los trabajos, hasta ser abandonado en 1917. Se dieron, en total, unas 96 perforaciones de pozos, habiéndose encontrado en casi todos los casos los horizontes conteniendo azufre. Además se obtuvo una buena producción de aceite mineral.

Si se estudia el siguiente corte, que corresponde a la perforación del pozo número 1 de San Cristóbal-Capoacan, se notará que a distintas profundidades se tropezó con capas calizo-yesosas conteniendo azufre elemental, como sigue:

---

(43) W. ver Wiebe — The Pan American Geologist, Vol. XLV, 1926, p. 349. "Salt-Domes of Tehuantepec" — ver p. 353.

Arcilla	de los	0	a los	3.35	mts.
Arena		3.35	"	9.45	"
Marga gris			"	12.50	"
Caliza			"	30.50	"
Caliza amarillenta de grano fino ...			"	45.50	"
Marga gris apizarrada			"	152.50	"
Arenisca calcárea y encontró agua salada			"	167.75	"
Marga gris			"	198.25	"
Marga y arena			"	213.50	"
Caliza y yeso con poco azufre			"	224.17	"
Arena			"	230.27	"
Arena con azufre			"	250.10	"
Yeso con poco azufre			"	259.25	"
Caliza y yeso con poco azufre			"	265.35	"
Caliza y yeso con poco azufre			"	275.00	"
Marga con poco yeso		274.50	"	305.00	"
Marga con caliza y azufre			"	306.25	"

En consecuencia, el espesor total de las calizas-yesosas con azufre es de 67.73 mts.

Del gran número de pozos perforados, pocos fueron, como se dijo, los que no encontraron azufre. Las perforaciones negativas fueron localizadas fuera del domo, o bien no se profundizaron lo suficiente, y por lo mismo parecen no haber alcanzado a revelar la presencia de azufre al no haber penetrado las formaciones de la cubierta.

En conclusión, parece que las rocas con azufre en el domo de San Cristóbal, son persistentes.

Todos los trabajos hechos para investigar las posibilidades petroleras de este domo, indican, por lo que respecta a azufre, que es el que tiene mejores expectativas para explotarlo en gran escala, por el método de Frasch, en forma semejante a lo que se ha hecho en Texas y Louisiana, en los Estados Unidos del Norte.

Como dato adicional a lo anteriormente dicho respecto a este domo se puede agregar que su núcleo salino es de una magnitud inmensa, pues con la perforación del pozo número 13 se penetró en una profundidad de 727 metros y no se llegó a atravesarle. Su extensión, comprobada por la serie de las numerosas perforaciones hechas demuestra que cubre una superficie considerable. Se ha estimado que el domo de San Cristóbal tiene unos 600.000,000 de toneladas de sal gema.

Por lo que a azufre toca y a la estimación del tonelaje posible, por F. Deschamps (44), dice: "Hemos visto que toda la cubierta contiene el azufre, y como su extensión está comprobada y su espesor está identificado perfectamente, razonablemente se puede, con todos los datos que se han logrado en las perforaciones y estudios hechos, hacer una cubicación del tonelaje de azufre que se puede recuperar por medio del sistema Frasch, para lo cual se calcula que contenga la caliza de la cubierta el mínimo de 12% de azufre, y suponiéndose que estuviera concentrado en tan sólo una superficie de 500,000 metros cuadrados por los 70 metros de espesor, se tendrían, entonces, 35.000,000 de metros cúbicos de materiales propios de la cubierta; como la densidad específica de los materiales de ella: caliza y yeso, es de 2.2, tenemos entonces en esa superficie y espesor un total de 77.000,000 de toneladas, que si contienen el mínimo de 12% de azufre, arrojan un total de 9.240,000 toneladas de azufre, posiblemente recuperables por el sistema Frasch".

No hay duda de que en un porvenir más o menos cercano los yacimientos de los domos salinos de Tehuantepec tendrán que explotarse para obtener una fuerte producción de azufre elemental. Esto seguramente será al agotarse o estar por llegar a ese estado los maravillosos productores actuales de Texas, siguiendo una historia parecida al muy famo-

(44) Loc. cit.

so domo salino de Calcasieu Parish, Louisiana, que produjo entre 1903 y 1924, hasta ser abandonado por haberse extraído su contenido de azufre: 10 millones de toneladas de mineral, valuadas en 155.000,000 de dólares, en lo que hubo una ganancia libre, o utilidad, casi increíble.

Lo anterior dará una visión más o menos clara de lo que se puede esperar de los depósitos de azufre en los domos salinos del Istmo, donde su existencia, ya se indicó, ha quedado plenamente probada desde hace algunos años.

Mientras no se inviertan las fuertes sumas de dinero necesarias para el desarrollo y explotación de aquellos yacimientos, México no tiene sino dos alternativas: seguir explotando los escasos y relativamente poco importantes criaderos de azufre del resto del país, que salvo raras excepciones son de origen volcánico, y que no producirán gran cosa mientras no se fomente su desarrollo en mayor escala. El otro camino: seguir el sistema actual de importación forzosa, a expensas del empobrecimiento provocado por la fuga de capital que en otras circunstancias debiera quedar en el país.

En resumen, cabe repetir, antes de dar por concluída la descripción de los yacimientos mexicanos de azufre, que en el futuro y mediante la explotación de los domos salinos de Tehuantepec, que contienen vastas reservas de azufre, México tendrá que llegar a ser el primero o segundo gran productor mundial de azufre.

Otras localidades donde existe azufre.

En México hasta la fecha, se ha descubierto azufre en los siguientes lugares (45):

AGUASCALIENTES — Part. Ocampo: Mun. de Tepezalá.

BAJA CALIFORNIA — Dist. N.: Sierra de Cucapahs, Mina del Promontorio; inmediaciones del Río Colorado.

Dist. S.: Volcán de las Vírgenes; Minerales San Antonio y El Triunfo, minas: Mina Rica, Gobernadora, San Joaquín, Mexicana, Picacho, San Antonio, Animas, Capricho, Nazareno, San José, Santa Cruz, Churreas, Espinoseña, Santa Gertrudis, Nacimiento, Molineña, Mendoceña, María Marroneña, Sancheña, San Alberto, Soledad, Codicia, Gledo, Estrada, Rosario, Escondida, Gusabe, Crestones, Palo de Arco, Torete, Valenciana, Carmen, Fortuna, San Pedro, Todos Santos, San José.

COAHUILA — Dist. Monclova: Mpio. y Mineral Sierra Mojada.
Dist. Parras de la Fuente: Mun. de Parras, San Rafael Sierra de Meyrán, Mina San Pedro.
Dist. Río Grande: Mun. Santa Rosa, Lomas de Gigado; Mun. Zaragoza Sierra de Campaña.
Dist. de Viesca: Mun. Matamoros Laguna: Mun. Viesca, Sierra de Baicuco, cerca de Est. Hornos.

COLIMA — Dist. Centro: Mun. Coquimatlán, Hda. de Magdalena.

CHIAPAS — Dep. de Comitán: Uninajab.
Dep. Las Casas: Al N. de Magdalena.
Dep. La Libertad: Mun. San Bartolomé.
Dep. Pichucalco: Mun. Juárez, Hda. Mezcalapa.

CHIHUAHUA — Dist. Camargo. Sierra de las Encinillas, Mun. Ciudad Camargo, Santa Rosalía, Ojo de Santa Rosalía.
Dist. de Iturbide: Compañía de Río Tinto Mexicano, Mina El Bronce.

DURANGO — Part. de Mapimí. Mun. Mapimí, Sierra del Jaboncillo, Mina La Tenebrosa; Sierra de Banderas, mina San José de Banderas; Estación de Conejos: minas: Porfirio Díaz, El Porvenir, Santa Fe y otras en el Puerto de Jaboncillo; minas en las Sierras de Tlahualillo y La Campana.

---

(45) Instituto Geológico de México, Bol. No. 40.

Part. de Santiago Papasquiaro; Mun. y Mral. San Andrés de la Sierra, minas: Esperanza, Santa Juliana, Fortuna, La Bolla, Santa Pita, Huasina.
Part. Nombre de Dios: Mun. Nombre de Dios, La Breña, Juitán, Cerro Maika, lindero de las Hdas. El Ojo y La Ochoa.

GUANAJUATO — Dist. Victoria, Mun. y Mral. Xichú, minas: Dulces Nombres, en el cerro de Los Alamos.

GUERRERO — Dist. Alarcón: Mun. Tetipac, Pueblo Nostepec.
Dist. Alvarez — Mun. Copalillo, Pueblo Tlalcozotitlán.
Dist. Bravos — Mun. Zumpango del Río, cercanías de Zumpango del Río, Pueblo Huitziltepec.
Dist. de Hidalgo — Mun. y Mral. de Huitzuco, Mina La Cruz.
Dist. Morelos — Mun. Alcozauca, Pueblo Alcozauca de Guerrero.

HIDALGO — Dist. de Atotonilco el Grande — Mun. Atotonilco el Grande. Cerca de los Baños de Amajac. (En forma de pequeñas concreciones en las grietas de la andesita, acompañada de carbonato de cal, producidas como depósitos de aguas termales; sin importancia industrial.— G. Vivar).
Dist. de Tulancingo: Mun. Singuilucan, Hda. Cuyamaloya, Depositado por aguas termales.
Dist. de Zacualtipán, Mun. Zacuiltipán.

JALISCO — Cantón Guadalajara, Mun. Guadalajara, a 15 kilómetros al W. del cerro del Coll; Solfatara, Escalera en el Valle de Guadalajara.
Cantón de Sayula, Mun. Sayula, cerca de Medias Aguas, cerro Cabeza de Perro.

MEXICO — Dist. de Ixtlahuaca: Mun. Temascalcingo, Hda. Solís. (El azufre en cintas atraviesa una roca aluminosa).

OAXACA — Dist. de Ixtlán. Mina de Santa Gertrudis.
Dist. de Juxtlahuaca: Mun. Santiago Juxtlahuaca.

PUEBLA — Dist. Acatlán: Mun. Chinantla, Pueblo Chinantla.
Dist. Alatriste: Mun. Chignahuapan, Rancho de Pedernales. Los Azufres.
Dist. de Atlixco. Mun. Atlixco. (En grietas de una brecha traquítica).
Dist. de Chalchicomula. Citlaltépetl.
Dist. de San Juan de los Llanos. Al S. de Tepeyahualco.
Dist. de Teziutlán: Mun. Teziutlán, Las Humeras, junto al pueblo de Chignautla.
Dist. de Zacatlán.

QUERETARO — Dist. de Cadereyta de Méndez. Mun. Cadereyta de Méndez, La Cañada y cerca de Xilitlilla.

SAN LUIS POTOSI — Part. Catorce; Mun. Cedral, San Pedro de los Arvida.
Part. Guadalcazar: Mun. Arista, Rancho Tapona.
Mun. Iturbide, Hda. Peotillos.
Mun. Guadalcazar, mina San Antonio de Padua y Minas de mercurio, La Trinidad.
Part. San Luis Potosí, Mun. San Luis Potosí, Hda. Angostura.
Part. Tancanhuitz. Mun. Xilitla.
Part. Venado. Mun. Charcas, cerca de Mina La Corona, Cerro del Azufre.

SONORA — Dist. Alamos, Camino para Benancita, bajo la forma de vetas.
Dist. Altar.
Dist. Guaymas.

TAMAULIPAS — Dist. N. Mun. Burgos.
Dist. S. Mun. Aldemas, Hda. La Azufrosa, a 185 km. de Tampico.

VERACRUZ — Cantón de Orizaba: Pico de Orizaba, Pue.

ZACATECAS — Part. Mazapil, Mina de San Pedro Ocampo.
Part. Pinos: Mun. Pinos, minas: El Refugio, Animas, Cruz de Mayo.
Part. Zacatecas, Mun. y Mral. de Zacatecas.

SELENIO—AZUFRE — Se,S

GUERRERO — Dist. Hidalgo: Mun. Huitzuco.

QUERETARO — Dist. Cadereyta de Méndez, Mineral de Culebras.
Observaciones: El selenio casi siempre se encuentra mezclado con azufre.

SOLICITUDES PARA EXPLOTAR AZUFRE

El siguiente cuadro muestra las solicitudes presentadas ante las Agencias de Minería de la Secretaría de la Economía Nacional, para la explotación de criaderos de azufre.

Estado, Municipio o Lugar.	Nombre del fundo	Título	Superficie
AGUASCALIENTES —			
Encarnación	Santo Domingo		9-00-00
BAJA CALIFORNIA —			
Mexicali	Amapola del Desierto	64256	10-00-00 V
"	Palestina	68307	10-00-00
"	Ana Luisa	69880	100-00-00
"	Carlota Alicia	69944	100-00-00
"	Georgina	69052	30-00-00
"	La Buenaventura		64-00-00
"	La Sin Rival	70159	10-00-00
"	Galilea	70842	16-00-00
"	Cerro Prieto		18-00-00
"	Dos Estrellas	73401	10-00-00
"	Vesubio	79232	99-00-00
"	El Exito No 2		81-00-00
"	El Escondido		231-00-00
"	María Luisa		100-00-00
"	Salvador		98-00-00
"	Luz		100-00-00
"	Catarina		100-00-00
"	Magdalena		100-00-00
"	Gertrudis		9-00-00
"	Dolores		100-00-00
"	Carlos		9-00-00
"	Popocatépetl		95-00-00
"	Ixtlacíhuatl		94-00-00
"	Plutón		99-00-00
Ensenada	Promontorio	3418	20-00-00
"	" Número 1	8314	1-00-00
"	" Número 2	8315	1-00-00
"	" Número 3	8316	1-00-00
"	" Número 4	8317	1-00-00
"	" Número 5	8318	1-00-00
"	" Número 6	8319	1-00-00
"	" Número 7	8320	1-00-00
"	" Número 8	8321	1-00-00
"	" Número 9	8322	1-00-00
"	Número 10	8323	1-00-00
"	" Número 11	8324	1-00-00
"	" Número 12	8325	1-00-00
"	" Número 13	8326	1-00-00

Estado, Municipio o Lugar.	Nombre del fundo	Título	Superficie
Ensenada	Promontorio		
"	" Número 14	8629	1-00-00
"	" Número 15	8630	1-00-00
"	" Número 16	8631	1-00-00
"	" Número 17	8632	1-00-00
"	" Número 18	8633	1-00-00
"	" Número 19	8634	1-00-00
"	" Número 20	9933	1-00-00
"	" Número 21	9934	1-00-00 V
"	" Número 22	9935	1-00-00
"	" Número 23	9936	1-00-00
"	" Número 24	9937	1-00-00
"	" Número 25	9938	1-00-00
"	Los Volcanes	31182	20-00-00
"	La Soleta	44975	8-00-00 V
"	Creso	47588	81-00-00
"	Sicilia	54161	3-00-00 V
"	Josefita	70282	21-00-00 V
"	Voz de la Naturaleza	70283	30-00-00 V
"	Pompeya	71103	10-00-00 V
"	Herculano	72764	10-00-00
"	La Cobriza	73565	32-00-00 V
"	El Exito	9069	30-00-00
Mulegé	San Vicente		9-80-00
"	Los Azufres	35977	30-00-00
COAHUILA —			
Cuatro Ciénegas	La Virgen	26457	10-00-00
"	Atlántida		9-00-00
Guerrero	La Azufrosa	25260	132-00-00
"	Popocatépetl	29398	14-00-00
"	Casillas		9-00-00
"	Guillermo		9-00-00
"	Josefina		9-00-00
"	Francisco		9-00-00
Matamoros	La Libertad	12422	24-00-00
"	Guatimotzin	13636	140-00-00
"	Moctezuma	13805	
Parras	La Malinche	21076	36-00-00
"	La Viga	21514	180-00-00
San Pedro	Vulcano	8237	6-00-00
"	El Progreso		9-00-00
"	San Julián		40-00-00
"	La Azufrosa		50-00-00
Viesca	Eduardo	20223	96-00-00
"	La Constancia		10-00-00
COLIMA —			
Manzanillo	Economía No. 2	85781	46-00-00 V
Tecomán	San Toribio	67332	40-00-00
CHIHUAHUA —			
Aldama	El Azufre	18739	100-00-00

Estado, Municipio o Lugar.	Nombre del fundo	Título	Superficie
Aldama	Gloria		9-00-00
"	Anexas al Azufre	82390	9-00-00
"	Los Capirotes		9-00-00
Villa Ahumada	San Miguel		9-00-00
DURANGO —			
Lerdo	El Porvenir	1776	3-00-00
"	El Salvador	16147	8-00-00
Mapimí	El Porvenir	951	3-00-00
"	La India	4161	3-00-00
"	Zaragoza	4557	10-00-00
"	Santa Elena	6350	2-00-00
"	El Recreo	9160	6-00-00
"	Anexas a San José de Balderas	9392	5-00-00
"	La Minerva	10258	6-00-00
"	Cuba Libre	12301	10-00-00
"	La Casualidad	13210	10-00-00
"	Anex. al Recreo	13301	15-00-00
"	Santa Margarita	14705	100-00-00
"	San Melchor	16442	29-00-00
"	El Popocatépetl	16933	69-00-00
"	La Viga	17278	200-00-00
"	Anex. No. 3 a San José de Balderas	17588	10-00-00
"	San Joaquín	18232	20-00-00
"	Anex. a Minerva	18355	9-00-00
"	La Fe	18732	30-00-00
"	Anex. a Cuba Libre	18755	38-00-00
"	San Miguel	21252	180-00-00
"	Santo	22915	70-00-00
"	Anex. a La Tenebrosa	23236	20-00-00
"	La Tenebrosa	23237	30-00-00
"	Tron	23287	200-00-00
"	La India	24674	30-00-00
"	La Campana	24675	18-00-00
"	La Luz	25255	25-00-00
"	La Sulfurosa	25276	20-00-00
"	Porfirio Díaz	25522	42-00-00
"	San José	26297	60-00-00 V
"	La Escondida	27727	50-00-00
"	La Fe	32726	36-00-00 V
"	La Dinamita	25768	10-00-00
"	La Fraternidad	57809	4-00-00
"	San José de Balderas	82881	42-00-00 V
"	La Fortuna	80852	30-00-00 V
"	El Porvenir		9-00-00
Poanas	La Paz	59303	4-00-00
"	Puerto Arturo		24-00-00
"	La Poanera	85866	9-00-00 V
"	Ampl. 2ª de La Poanera		100-00-00
"	Ampl. 3ª de La Poanera		30-00-00

Estado, Municipio o Lugar.	Nombre del fundo	Título	Superficie
GUERRERO —			
Teloloapan	La Gran Veta		36-00-00
"	La Fama		9-00-00
"	La Paloma		9-00-00
HIDALGO —			
Singuilucan	San Martín de Las Minas	12382	12-00-00
"	San Martín del Castillo		9-00-00
Amecameca	Criaderos de Azufre del Popo	43008	36-00-00
"	Cuauhtémoc	57600	36-00-00
"	El Faisán	82266	9-00-00 V
JALISCO —			
Zapopan	Capulín		9-00-00
"	Las Azufreras		9-00-00
MICHOACAN —			
Cd. Hidalgo	Antiguos Azufres	84880	50-00-00 V
"	El Chino		50-00-00
"	Los Azufres		10-00-00
"	Mina Vieja		24-00-00
"	El Salto		10-00-00
"	Laguna Verde		24-00-00
"	Los Ajolotes		8-00-00
"	Nueva Laguna Verde		9-00-00
"	Lcs Azufres		9-00-00
"	Laguna de Los Azufres		9-00-00
Zinapécuaro	Marítaro		50-00-00
"	Laguna Verde		9-00-00
NUEVO LEON —			
China	La Esperanza		10-00-00
Gral. Bravo	Agua Fría	71740	9-00-00 V
Los Ramones	La Oriental		6-00-00
Cd. Camargo	Ampl. de Ranchería		160-00-00
"	Azufre de Ranchería No. 1		100-00-00
"	Azufre de Ranchería No 2		100-00-00
"	Azufre de Ranchería No. 3		100-00-00
"	Azufre de Ranchería No. 4		100-00-00
"	Azufre de Ranchería No. 5		100-00-00
"	Azufre de Ranchería No. 6		100-00-00
"	Azufre de Ranchería No. 7		100-00-00
"	Azufre de Ranchería No. 8		100-00-00
"	Azufre de Ranchería No. 9		100-00-00
Galeana	Mina del Pilón		9-00-00
PUEBLA —			
Chalchicomula	La Victoria	41715	20-00-00 V
"	Júpiter	43376	4-00-00
Aljojuca	Sin Nombre	9571	8-00-00 V
"	Sin Nombre	27845	20-00-00 V
"	Francisca y Anexas	35528	8-00-00

Estado, Municipio o Lugar.	Nombre del fundo	Título	Superficie
Aljojuca	La Azufrera	83309	42-00-00 V
Coscomatepec	Josefina	73848	20-00-00 V
Chignautla	Los Humeros	78137	9-00-00 V
Huejotzingo	Popocatépetl		100-00-00
"	Anexo 4° Popocatépetl		50-00-00
Chignahuapan	El Jorullo	23438	12-00-00
"	Ampliación de la América	27000	20-00-00
"	La Nueva América	80150	9-00-00 V
"	La Estrella	88477	9-00-00 V
"	Ampl. de La Estrella	79894	18-00-00 V
"	La América	81738	61-00-00 V
SAN LUIS POTOSI —			
Arista	San Enrique	57243	10-00-00
"	Los Verdes		8-00-00
"	Cóndorset	83774	9-00-00 V
"	Mina del Agua		9-00-00
"	La Joreña		9-00-00
"	El Salvador	77824	16-00-00 V
"	Sebastián		9-00-00
"	La Candelaria	80295	16-00-00 V
"	La Boquilla		16-00-00
"	Teresita No. 1	85150	8-00-00 V
"	Teresita No. 2		8-00-00
"	Santa Eugenia	80330	9-00-00 V
"	La Sultana del Norte	81783	9-00-00
"	Tres Rosas	80561	9-00-00 V
"	Teresita		24-00-00
"	La Providencia	82611	9-00-00 V
"	El Fénix	80466	9-00-00 V
"	La Providencia	89571	9-00-00 V
"	El Potosí		9-00-00
Carbonera	Anexas a San Rafael	10248	45-00-00 V
"	Demasía de San Rafael	11317	1-27-65
"	El Mundo Rico	12075	420-00-00
"	La Virginia y La Carolina An.	12077	48-00-00
"	La Virginia y La Carolina	12078	45-00-00
"	San Francisco	13119	12-00-00
"	Santo Domingo	13120	58-00-00
"	El Salto	13203	36-00-00
"	El Piloncillo	13204	8-00-00
"	Demasías de Mundo Rico	14475	10-25-33
"	San Jorge	11847	7-78-14
"	San Alejo	14914	140-00-00
"	La Cruz	15104	36-00-00
"	Puntiaguda	15105	60-00-00
"	La Rinconada	15106	24-00-00
"	Ampl. del Puntiagudo	15215	70-00-00
"	La Sala	15216	30-00-00
"	Ampl. de La Cruz	15535	33-00-00
"	Ampl. del Salto	15547	30-00-00
"	La Asturiana	15785	15-51-18 V
"	El Salto	19878	30-00-00

Estado, Municipio o Lugar.	Nombre del fundo	Título	Superficie
Carbonera	México	24961	276-00-00
"	Armonía	30795	634-00-00
"	Bolañitos	57099	37-00-00
"	Santiago	57100	6-91-46
"	Demasías de Santa Anita	57101	10-47-68
"	La Valentina	57102	36-00-00
"	Mercedes	57103	94-00-00
"	Demasías de Mercedes	57104	1-66-48
"	Santa Anita	57105	63-00-00
"	Guascamá Sulphur Mine	76949	15-00-00 V
"	Gaurany		9-00-00
Ciudad Fernández	La Paz		9-00-00
Charcas	La Abundancia	34938	8-00-00
"	La Luz de Azufre	35956	4-00-00
"	Anexas a La Abundancia	35976	10-00-00
"	La Nueva Luz de Azufre	48498	4-00-00
"	La Purísima	56845	4-00-00
"	El Porvenir		9-00-00
Guadalcazar	El Verde	15351	30-00-00
"	Concepción		20-00-00
"	La Viga		30-00-00 V
"	Cecilia	85377	9-00-00 V
Mexquitic	La Potosina		9-00-00
La Pastora	Demasías de San Jorge	23734	81-93
"	La Salvadora	57580	4-00-00
"	Tisiócrata		9-00-00
"	Guadalupe	86868	18-00-00 V
"	Teresita		12-00-00
"	Martha		9-00-00
"	Rita		9-00-00
"	Margarita		9-00-00
Río Verde	Los Bravos	15398	6-00-00
"	El Triángulo		8-00-00
"	La Providencia	90877	9-00-00 V
San Nicolás Tol.	Guadalupe		9-00-00
"	Oalirie		9-00-00
Venado	La Corona	13153	20-00-00
"	El Rosario	22570	20-00-00
"	La Nueva Luz de Azufre	48892	4-00-00
"	Santa Elena	50322	20-00-00
"	La Etna	50820	4-00-00
"	Santa Teresa	50874	4-00-00
"	Anex. a Nva. Luz de Azufre	53414	6-00-00
"	Los Danieles	54415	12-00-00
"	Anexas a Sta. Teresa	53559	23-00-00
"	Flor de Azufre	53763	12-00-00
"	Don Higinio	53795	6-00-00
"	Guadalupe	56871	6-00-00
"	Los Reyes		9-00-00
"	La Abundancia	80294	9-00-00 V
"	El Meco	80153	9-00-00 V
"	Peregrino	80484	9-00-00 V
"	La Guadalupana	85376	9-00-00 V
Villa Juárez	María de Lourdes	77046	9-00-00 V

Estado, Municipio o Lugar.	Nombre del fundo	Título	Superficie
Villa Juárez	El Triángulo	76951	8-00-00 V
"	Dupont	87761	5-00-00 V
"	Fisiócrata		9-00-00
"	La Sorpresa		2-00-00
"	Santa Catarina		100-00-00
TAMAULIPAS —			
Burgos	El Corcovado	83366	100-00-00 V
"	Ampl. del Corcovado		136-00-00
"	Frasch Sulphur	85800	25-00-00 V
"	Lavoisier	86563	25-00-00 V
"	El Rincón		9-00-00
Crucillas	El Rincón		16-00-00
"	El Rincón No. 1		9-00-00
Magiscatzin	La Azufrosa	53348	3-00-00
Matamoros	San Nicolás	61963	16-00-00
"	Santa Josefina	62366	16-00-00
"	El Azufre	62426	184-00-00
"	El Chapeño	79989	400-00-00
"	Ampl. del Chapeño	75526	200-00-00
Mier	Azufre de Ranchería		400-00-00
VERACRUZ —			
Maltrata	Carola	61476	24-00-00
ZACATECAS —			
Mazapil	La Parreña	23651	5-00-00
Nieves	Colón	12188	100-00-00
"	Precursora	16988	50-00-00
"	Vesubio	18111	20-00-00
"	Aetna	18112	20-00-00
"	Anexas a Colón	20584	25-00-00
"	Zona Juárez	44845	2-00-00
"	Moctezuma	45715	3-00-00
"	La Esperanza	81165	20-00-00

Haciendo la concentración de los datos anteriores sobre solicitudes para explotar criaderos de azufre, o fundos titulados con el mismo objeto, en toda la República, se observa lo siguiente:

Se ha presentado un total de 308 denuncios en las Agencias de Minería de 16 Estados del país. La superficie total cubierta por esos denuncios es de 11,532 hectáreas, 69 áreas y 85 centiáreas. Sin embargo, de los 308 lotes mineros solicitados únicamente se han cumplido con los requisitos de Ley tanto en la Secretaría de Economía como en la de Hacienda, en sólo 54 casos, que representan las concesiones vigentes, con una superficie igual a 1068 hectáreas.

Las mayores cantidades de solicitudes para efectuar explotaciones de yacimientos de azufre corresponden precisamente a San Luis Potosí, Baja California y Durango, Entidades donde los depósitos de azufre son más abundantes y ricos, de donde ha procedido, en lo que va del siglo, la producción nacional de alguna importancia.

A continuación se inserta el cuadro de los denuncios de azufre en México, clasificados por Estados:

Estados	Núm. de denuncios	Sup. denunciada	Sup. vigente	Fundos vigentes	Fundos caducos
Aguascalientes	1	9-00-00		0	1
Baja California	62	2012-00-00	115-00-00	8	54
Coahuila	19	792-00-00		0	19
Colima	2	86-00-00	46-00-00	1	1
Chihuahua	5	136-00-00		0	5
Durango	44	1629-00-00	180-00-00	6	38
Guerrero	3	54-00-00		0	3
Hidalgo	5	102-00-00	9-00-00	1	4
Jalisco	2	18-00-00		0	2
Michoacán	12	262-00-00	50-00-00	1	11
Nuevo León	14	1094-00-00	9-00-00	1	13
Puebla	16	410-00-00	216-00-00	10	6
San Luis Potosí	99	3120-00-00	293-00-00	23	76
Tamaulipas	14	1539-00-00	150-00-00	3	11
Veracruz	1	24-00-00		0	1
Zacatecas	9	245-00-00		0	9
Totales:	308	11532-69-85	1068-00-00	54	254

Producción, Importación y Exportación.—México, a pesar de contar con gran número de yacimientos de azufre, esparcidos en su territorio, como se ilustra en el mapa respectivo, no produce ni tampoco exporta gran cantidad de dicho elemento, debido, principalmente, a las causas siguientes:

1o — En lo general la mayoría de los depósitos de azufre son de escaso valor económico, y más bien deben considerarse como localidades mineralógicas;

2o — En el caso de los criaderos de importancia comercial se tropieza con grandes dificultades que entorpecen o hacen imposible su aprovechamiento; tales obstáculos son, entre otros: falta de mercados, pues los consumidores compran a productores seguros, como a los de San Luis Potosí, o bien importan; la carencia de medios de vida, comunicaciones y facilidades de transporte, son otros tantos escollos para las explotaciones de minas de azufre en México.

En los datos estadísticos de que se dispone (46), (47), tanto sobre producción, como de exportación e importación, se nota, desde luego, lo expresado en los párrafos anteriores. Las estadísticas son incompletas y existen lagunas, como la correspondiente a todo el período de la Revolución. Los datos de producción solamente comprenden un período de 7 años: 1933 a 1939.

Producción de azufre en México durante los años de 1933 a 1939.

Años	Azufre natural Kgs.	Azufre refinado Kgs.
1933	1.032,000	....
1934	860,000	....
1935	3.812,000	921,000
1936	1.294,000	....
1937	267,000	49,000
1938	219,000	49,342
1939	26,000	
TOTAL	7.510,000	

(46) Sría. de la Economía Nal. — Anuarios de Estadística y Prod. Min. — México, D. F.
(47) T. Paredes — Bol. Min. No. 4, Julio a Diciembre 1917, p. 488.

Al comparar las tablas de importación y exportación de azufre, se nota que el país importa mucho del azufre que necesita, comprándolo exclusivamente a los productores de los Estados Unidos de Norteamérica.

Importaciones y exportaciones de azufre en México, de 1903 a 1913, inclusive:

Años	Importación	Exportación
1903-04	$ 406,631.86	$ 325.00
1904-05	2,709.15	......
1905-06	94,481.03	......
1906-07	80,731.01	......
1907-08	120,469.44	20,720.00
1908-09	51,395.23	38,520.00
1909-10	37,583.20	32,218.00
1910-11	26,608.16	49,319.00
1911-12	32,730.55	17,684.00
1912-13	66.062.76	55.00
S u m a s :	$ 919,402.39	$ 158,841.00

Por lo que respecta a las importaciones y exportaciones correspondientes a los años de 1935 a 1940, se tienen los siguientes datos estadísticos:

	Importaciones		Exportaciones	
Años	Kilos	Valor	Kilos	Valor
1935	10964,029	$ 875,978	77,026	$ 1,481
1936	10.678,270	871,798	10,024	556
1937	10.172,711	822,458	390,581	2,740
1938	5.760,311	597,054	9,586	668
1939	5.427,516	687,026	5,350	310
1940	No hay datos		191,906	3,795
S u m a s :	43.002,837	$ 3.854,314	684,473	$ 9,550

De 1935 a 1939, esto es, en un período de 5 años, para los que existen datos completos, resulta que a fin de cubrir el faltante de azufre indispensable en las industrias domésticas que lo consumen, hubo necesidad de importar algo más de 43,000 toneladas del mismo.

Lo anterior indica que debe estimularse en todo lo posible la explotación de nuestros criaderos de azufre, hasta obtener una producción mínima suficiente, por lo menos, para el consumo interior.

En la actualidad, casi todas las minas de azufre mexicanas no producen nada, estando todas ellas abandonadas o paralizadas en sus trabajos, situación que económicamente es perjudicial al país.

A S I A

De acuerdo con los datos de producción mundial de azufre, que aparecen en el Mineral Year Book del año de 1940, el continente asiático cuenta con 7 países productores de azufre. Existen, además, otras naciones donde se han localizado yacimientos de dicho elemento, pero aparentemente no se explotan. Se ha encontrado azufre en: Rusia, Japón, China, Taiwán, India, Palestina y Turquía.

En la **RUSIA** asiática desde hace siglos se descubrieron algunos de sus yacimientos

de azufre. S. V. Griffith (48) dice al referirse a los depósitos ruso-asiáticos de azufre: "Aunque Rusia posee criaderos de azufre muy grandes, su estudio data sólo de unos 10 años a esta parte, y no es nada fácil obtener datos sobre su explotación.

"Los yacimientos rusos mejor conocidos son los que se localizan en Asia Central, como sigue: Kara Kum y Gaurdak, en la República Soviética Socialista de Turkenia; Shor-Su y Tchangir Tash, en la R. S. S. de Kirgliz. Finalmente, se tienen los depósitos de Alexeevsky y Vodminsky.

"Los criaderos de Kara Kum, que tienen un promedio de 20% de azufre, se extienden cubriendo una amplia zona, pero según parece, en el desarrollo de dicho yacimiento se han encontrado muchas dificultades debidas a la falta de agua y recursos alimenticios. Lo mismo puede decirse de los depósitos de Gaurdak, donde el azufre, con 30% de pureza, se presenta intercalado con capas de yeso y caliza.

"Se dice que en Shor-Su se emplean algo más de 3,000 obreros, pero considerando que esta región es notoriamente mala por lo que respecta a clima, no parece probable que las operaciones de explotación lleguen a desarrollarse con mucho éxito, a menos que se remedien en forma notable las condiciones existentes de vida".

JAPON.—No cabe duda que de entre los criaderos de azufre de Asia, son los del Japón los de mayor importancia por su magnitud y por su potencialidad productiva, lo cual hace que aquella nación ocupe el lugar principal como productor de dicho metaloide en aquel continente.

Casi todo el azufre que se obtiene es de criaderos de "tipo volcánico", que en el país son abundantes, sobre todo en las zonas volcánicas llamadas Tyokai, Nasu, Hakusan, Norikura y Kirisina, que atraviesan las islas japonesas en todo su eje mayor, prolongándose hasta la isla de Formosa.

Los depósitos de la Isla de Hokkaido son, de entre los que se aprovechan en el Japón, los de mayor importancia, habiendo contribuído fuertemente a la producción mundial.

CHINA.—Aunque cuenta con algunos depósitos de azufre, produce poco, no sabiéndose casi nada sobre ellos, posiblemente por falta de estudios sobre el particular. Los yacimientos mejor conocidos son los de la provincia de Shan-si.

TAIWAN O FORMOSA.—Tiene algo de azufre que se explota y aprovecha ya sea localmente o en el Japón. Se ignora la importancia de los criaderos, presumiéndose que es escasa. Son del "tipo volcánico".

INDIA.—Tiene pocas reservas de azufre, obteniéndose una pequeña producción de los cráteres de los volcanes ya muertos, situados en Barren Island, sobre la porción occidental de Beluchistán. Otros yacimientos de menor interés se localizan en el Penga, valle de Ladakh.

Aunque no existen casi datos acerca de las posibilidades y características de los criaderos de azufre de las Filipinas, Java, Indias Orientales Holandesas e Indochina, se sabe que de los cráteres de volcanes apagados se han venido extrayendo pequeñas cantidades de azufre.

TURQUIA.—En su porción asiática dispone de algunas localidades donde se ha encontrado azufre en suficiente cantidad y de la calidad necesaria para garantizar operaciones en pequeña escala. Sus depósitos quedan localizados entre Esmirna y Cassaba, y en Kechi Burhu. En el primer caso no han sido desarrollados, aparentemente por falta de empresas que deseen invertir capital. En cambio, en Kechi Burhu se ha logrado mantener actividad, explotando minerales cuyo contenido de azufre varía entre 40% y 60%, rindiéndose una producción anual de azufre refinado de unas 5,000 toneladas.

La potencialidad de este criadero, de acuerdo con los estudios hechos, y para llenar las fuertes necesidades de la industria nacional en estos tiempos, permitirá, cuando menos, aumentar la producción al doble.

---

(48) S. V. Griffith — Loc. cit.

PALESTINA.—No posee minas de azufre de gran valor, y su producción, muy pequeña, se obtiene de yacimientos con mineral pobre, con ley que apenas llega al 30%. No se tienen datos sobre el tipo de los depósitos ni sus cararacterísticas o geología regional.

E U R O P A

Como productor mundial de azufre el continente europeo ocupó el primer lugar hasta 1913, cuando los campos de la costa del Golfo de México pertenecientes a los Estados Unidos principiaron con su sorprendente producción, superior en muchas veces a la europea total.

ITALIA.—Esta nación ha sido por siglos la más potente productora de azufre en aquella parte de la Tierra, gracias a su magníficos yacimientos en Sicilia y algunas otras zonas de la península. Las regiones de mayor importancia se localizan en Palermo, Catania, Cattanissetta, etc., en la Isla de Sicilia. Se ha obtenido también en las minas situadas en las provincias de Campania, Marchez y Calabria, según se ilustra en el mapa adjunto, donde se marcan los centros italianos productores de azufre.

Se describieron al tratar sobre los tipos de criaderos de azufre, los yacimientos de Sicilia, que corresponden a los sedimentarios asociados con calizas, yeso y otras formaciones. Véanse figuras, 8, 12 y 13.

Los criaderos del tipo volcánico en Italia son casi desconocidos, pues las acumulaciones encontradas en volcanes como el Etna y el Vesubio, carecen de valor comercial.

ESPAÑA.—No ha producido gran cantidad de azufre elemental, pues lo obtiene del tueste de piritas de fierro, ya que el valor del producto obtenido en los yacimientos de Almería es escaso, como puede juzgarse de las estadísticas de producción que existen.

FRANCIA.—Cuenta con pequeños depósitos que rinden escasa cantidad de mineral, encontrándose los trabajos de explotación en el Departamento de Vaucluse, a 150 kilómetros al norte del puerto de Marsella.

GRECIA.—Ha logrado aprovechar, en cuanto le es posible, sus escasos recursos de azufre, obteniendo de ellos cantidades de mineral de escasa consideración, mismas que no cubren, ni con mucho, su consumo doméstico.

POLONIA.—Cuenta con algunos yacimientos de azufre, pero desgraciadamente todos son de importancia muy secundaria y nunca han rendido fuertes cantidades de mineral. Sus criaderos quedan localizados en las provincias de Kielce, y principalmente en las de Galicia y Silesia.

RUSIA EUROPEA.—Dentro de su enorme superficie territorial no guarda yacimientos de importancia. En la actualidad, debido a la situación reinante desde hace años en aquel grupo de Repúblicas Socialistas Soviéticas, es difícil obtener informes sobre sus criaderos minerales, sabiéndose por lo que a azufre se refiere, que en las inmediaciones de Samara, en el Volga, existen depósitos del tipo sedimentario, asociados con capas de arcilla y yeso. El mineral es de baja ley, con promedio de 15%. No hay datos de producción.

Otros países: en **YUGOESLAVIA** y **RUMANIA** se han encontrado algunos depósitos de azufre, pero su escasa potencialidad no permite aprovecharlo en escala siquiera significativa para las necesidades domésticas de las industrias de dichas naciones.

O C E A N I A

Las localidades donde se ha encontrado azufre en este continente son, de acuerdo con las investigaciones hechas, contadas. Los yacimientos corresponden invariablemente a los que deben su origen a fenómenos volcánicos, y hasta la fecha ninguno de los depósitos descubiertos tiene valor económico, razón por la cual el mercado mundial de azufre no registra producción correspondiente a Oceanía.

Los criaderos mejor conocidos son los de las zonas volcánicas de Nueva Zelandia, Nueva Guinea y Nuevas Hébridas, que forman parte del eje volcánico de Oceanía, ilustrado aproximadamente en la figura No. 11.

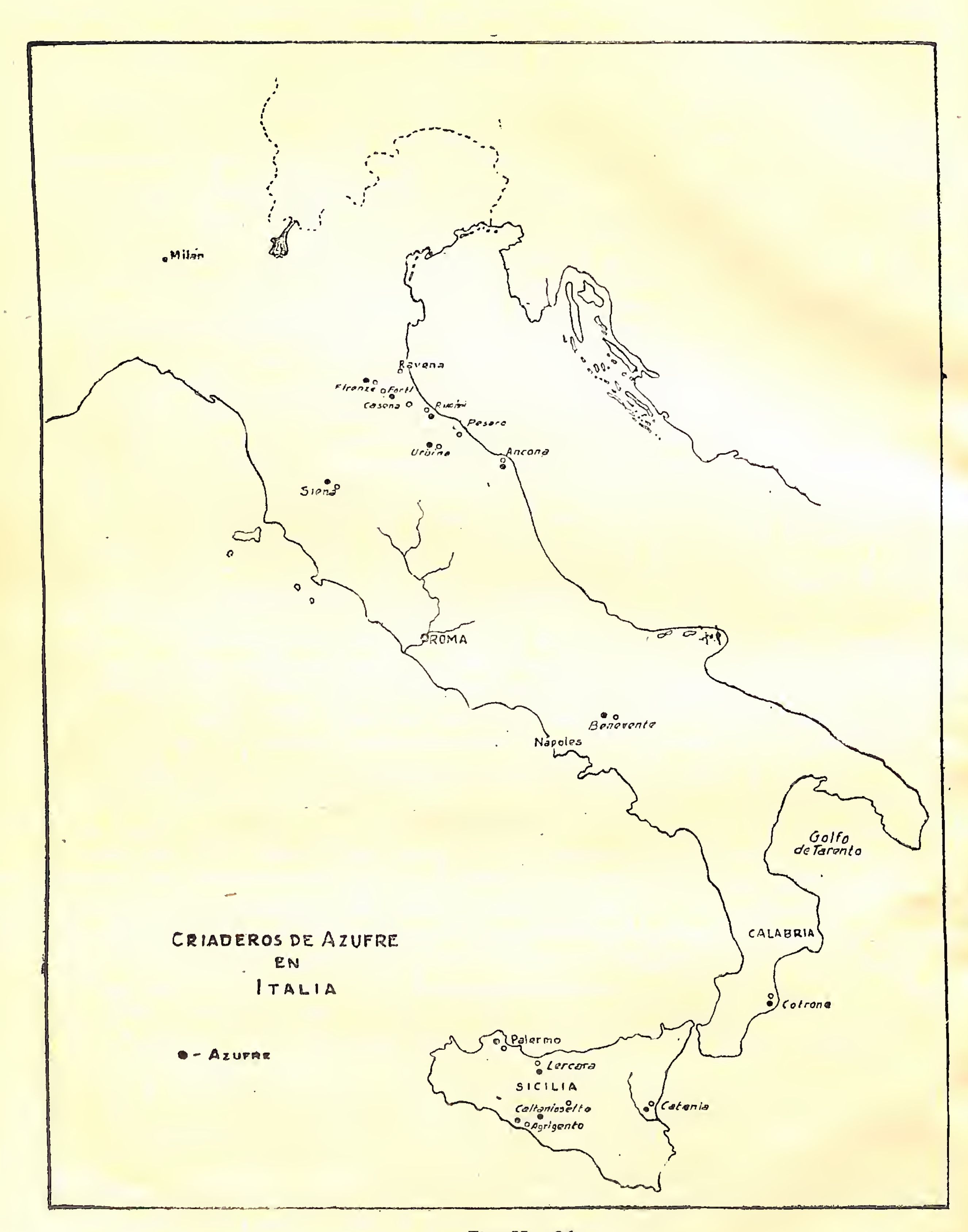

Milán
Ravena
Firenze
Forli
Casena
Pesare
Urbine
Ancona
Siena
ROMA
Benevente
Napoles
Golfo de Taranto
CALABRIA
Cotrone
Palermo
Lercara
SICILIA
Caltaniosetta
Agrigento
Catenia
CRIADEROS DE AZUFRE
EN
ITALIA
● - AZUFRE

Fig. No. 24

Se cree que el azufre de los yacimientos de aquella porción de la Tierra se ha explotado en cantidades reducidas, de acuerdo con su potencialidad, consumiéndose allí mismo la producción que se haya logrado, o en centros cercanos. No hay estadísticas donde se pueda apreciar el tonelaje extraído.

EXPLOTACION DE LOS YACIMIENTOS DE AZUFRE

Las obras o trabajos desarrollados en las minas y criaderos de azufre para el aprovechamiento de su contenido mineral varían grandemente tanto en forma como en efectividad recuperativa de la riqueza en explotación. Las obras son, muchas veces, sumamente rudimentarias en sus métodos de ataque, mientras que en otros casos se dispone de aparatos y de una técnica completamente moderna, que permite operar a muy bajos costos y obtener, en cambio, grandes ganancias. Las operaciones mineras se hacen tanto por medio de obras subterráneas como por trabajos a cielo abierto, dependiendo todo del modo como se encuentre el yacimiento y de las posibilidades disponibles para aprovecharlo.

Los métodos superficiales de explotación que regularmente se emplean en los criaderos de azufre, cuando éstos se encuentran a la vista, consisten en: tajos a cielo abierto, rebajes por el sistema de bancos, raspándolo de las rocas o paredes de las chimeneas volcánicas donde el mineral se deposita, o bien, más raramente, provocando la sublimación de los vapores de azufre que algunas fumarolas expelen. Comúnmente los métodos enunciados se desarrollan en muy reducida proporción e invariablemente se aplican en criaderos cuya importancia económica es muy secundaria; casi siempre, quienes así trabajan, son gentes que operan en pequeña escala, y por lo mismo, salvo raras ocasiones, siguen métodos primitivos.

Contrastando con los sistemas de explotación anteriores se tienen los que se ponen en práctica en los campos de mayor importancia en el Mundo, como son los de Sicilia, en Italia, y Texas, en los Estados Unidos de América. En ambos casos difieren grandemente, no obstante que en los dos se hacen mediante trabajos subterráneos.

En las minas sicilianas, como en casi todos los depósitos de azufre en iguales o parecidas condiciones, la extracción del mineral se hace mediante obras subterráneas, consistentes en tiros o pozos, y socavones o galerías abiertas a distintos niveles para facilitar los trabajos. En algunas de esas minas, donde desde hace siglos se han venido empleando tales sistemas, los costos de explotación son fuertes, máxime si se tropieza con dificultades para la extracción a medida que se alcanzan mayores profundidades. Tal es el caso en las minas de Sicilia, donde, forzados por la necesidad y a medida que los labrados son más profundos, han tenido que ir abandonando el sistema de manteo del mineral, usado hasta no hace mucho. En algunas de las minas ya se han instalado medios mecánicos de extracción, mientras que en otras las operaciones se han tenido que suspender o reducir, debido a los gastos tan elevados que no les permite igualarse con las demás, y sobre todo con la competencia que en el mercado ha venido a establecer el azufre extranjero, procedente de los Estados Unidos, donde los costos son en extremo bajos y donde la extracción anual supera en 6 ó 7 veces a la que normalmente, en tiempos de mayor actividad, se ha obtenido en Italia.

En las minas de azufre donde se trabaja por medio de obras subterráneas debe tenerse precaución con los gases que se generan en los labrados, y que no sólo son perjudiciales para la salud de los obreros, sino que a veces ocasionan incendios difíciles de dominar. Tal ha sido la experiencia en algunas minas italianas, donde se registró un incendio que duró diecisiete años. Así pues, las labores necesitan estar bien ventiladas, y protegerse a los obreros mediante el uso de mascarillas con esponja húmeda.

Para la explotación de los domos salinos con azufre, en los Estados Unidos se emplea el sistema de Frasch; dicho método, además de extremadamente sencillo en sus operaciones, es económico y proporciona los máximos beneficios. A continuación se inserta la descripción que de él hace C. L. Baker (49), quien dice:

(49 C. L. Baker — The University of Texas, Bureau of Economic Geology. Mineral Resource Circulars No. 6, Sulphur in Texas. April 1933.

"El azufre contenido en los domos salinos que se obtiene por el método de Frasch, consiste en bombear grandes cantidades de agua caliente hacia el interior del terreno a fin de provocar la liquefacción del azufre. Se perfora un pozo a través de la caliza del capote de roca hasta alcanzar la porción superior de la anhidrita subyacente; la perforación se protege con tubo de 10 pulgadas. (Véase figura No. 25). Después se inserta tubería de 8 pulgadas hasta el fondo del pozo; este tubo debe tener perforaciones en su porción inferior, hasta una altura de 9.5 metros, contados desde el fondo del pozo. En el interior del segundo tubo de 8 pulgadas se introduce otra tubería de 4 pulgadas, manteniéndola dentro de la anterior por medio de anillos; el tubo de 4 pulgadas debe llegar hasta muy cerca del fondo del pozo perforado. A su vez, y también sostenida por un anillo, dentro de la tubería de 4 pulgadas se coloca una de 1¼ de pulgada, hasta una distancia, 60 metros del fondo del pozo, aproximadamente. Una vez instalada la tubería, se forza hacia el interior del pozo, entre los tubos de 8 pulgadas y los de 4 pulgadas, vapor sobrecalentado, a 330º Fahrenheit (166º C) y presiones entre 125 y 250 libras por pulgada cuadrada; el vapor penetra en la formación que contiene el azufre a través de las perforaciones al final de la tubería de 8 pulgadas. El azufre se funde a los 283º Fahrenheit (139º4 C) y a los 284º F. (140º C) es casi tan flúido como el agua. El azufre fundido escurre hacia el fondo del pozo perforado, desde donde se eleva algunos cientos de pies dentro de la tubería de 4 pulgadas; esto es posible mediante la presión desarrollada por las bombas de agua y el volumen de la misma agua bombeada. Una vez que se ha acumulado suficiente azufre, se disminuye el bombeo de agua hacia el interior y se inyecta aire por la tubería de 1¼ de pulgada a una presión de 500 libras por pulgada cuadrada. Entonces el azufre fundido se eleva por el espacio que queda entre las tuberías de 4 y 1¼ de pulgada, hacia la superficie. Esto se logra gracias a la presión del aire, siendo entonces llevado a través de tuberías calentadas por vapor y accionadas por bombas centrífugas, hasta los cajones donde se almacena. Con el azufre extraído se forman bloques construyendo cajones de 12 metros de altura por 183 ó 305 metros de largo y 76 metros de ancho; es en estos cajones donde se descarga el azufre fundido que llega por las tuberías calentadas con vapor. Una vez que se llena el cajón y ya solidificado el azufre, se quitan las tablas laterales que lo forman y en seguida se tienden espuelas de vía standard a lo largo del bloque o bloques de azufre, listo para ser embarcado y remitido a los centros de consumo. Cuando el mineral se va a cargar en los carros del ferrocarril, se rompe en pedazos ya sea por medio de perforaciones o con explosivos. Se usan también palas mecánicas. En caso de que el bloque de azufre llegara a incendiarse, el fuego se extingue cubriendo la porción incendiada, o bien volándola con explosivos.

"Por el proceso de Frasch, un pozo es capaz de extraer el azufre contenido más o menos en una área de medio acre, alrededor del pozo".

BENEFICIO DEL AZUFRE

T. Barrera, en su estudio monográfico del azufre (50), ha hecho el resumen y descripción de los procesos de beneficio y refinación del azufre, como sigue:

"La mayor parte de los procedimientos usados en la extracción del azufre de las rocas que lo contienen, se han basado en la facilidad con que se funde la substancia bajo la acción del calor. Sin embargo, como se verá después, existen nuevos procedimientos que aprovechan otras propiedades del azufre, para verificar su separación del resto de las substancias que lo acompañan en sus depósitos.

"El procedimiento más antiguo que se conoce en Italia, es el designado con el nombre de "Calcarelle", que posteriormente recibió el nombre de "Calcarone", al haber aumentado las dimensiones del horno.

"Consiste principalmente de un recipiente de sección circular o elíptica y de paredes verticales que tiene su fondo inclinado de 10º a 15º respecto a la horizontal, con una salida en su parte baja. La capacidad ordinaria es de 250 a 350 metros cúbicos y en él se introduce el mineral de azufre, procurando distribuir el material de mayor tamaño cer-

---

(50) T. Barrera — Bol. Minero, 31 y 32, Enero a Diciembre de 1931. México.

ca de su fondo, y el material fino cerca de la superficie y de las paredes. Obstruída la puerta por mampostería provista de canales tapados con arcilla, y una vez que se ha cubierto la superficie de la carga, con escoria obtenida en una operación anterior, se inicia el fuego en la parte posterior del horno, mediante paja o leña que se coloca en una chimenea abierta en la carga de azufre. Una vez iniciado el fuego y a expensas de la com-

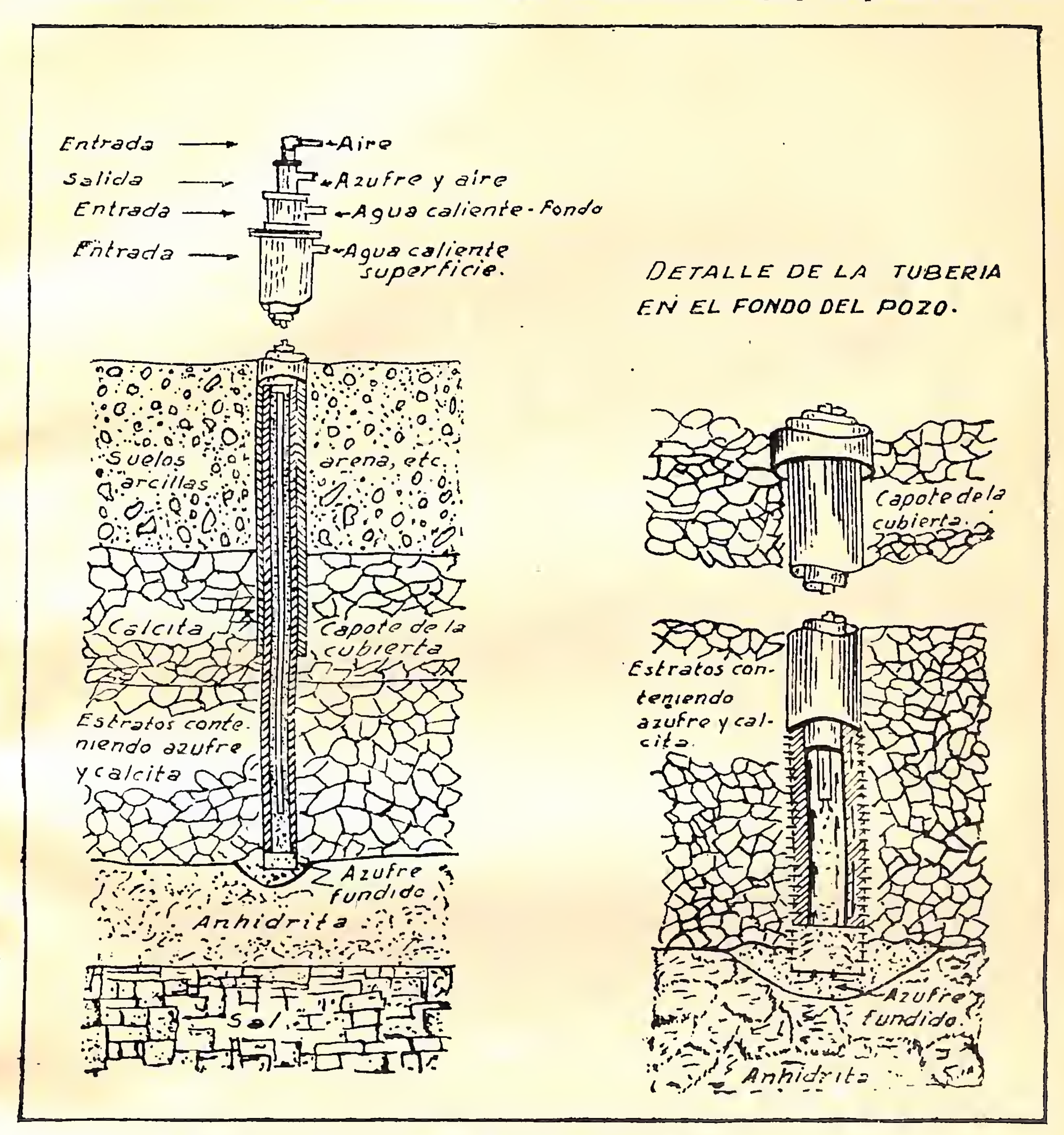


Fig. No. 25.—Secciones diagramáticas de las tuberías usadas en la explotación de los domos salinos conteniendo azufre, por el método de Frasch, Derechos, 1923, de la "Texas Gulf Sulphur Company, Inc".

bustión de una parte del azufre, se licúa el resto que escurre por el plano inclinado del fondo hasta salir por las canales de la puerta, que se abren quitando el tapón de arcilla que antes había sido colocado.

"Este procedimiento, aún cuando parece sumamente sencillo, presenta algunas difi-

cultades de operación, principalmente por la dificultad que existe en mantener una temperatura uniforme, que no sea excesiva, para no quemar más azufre del necesario ni tampoco deficiente para evitar que se solidifique de nuevo el azufre, sin poder extraerse por la puerta de descarga.

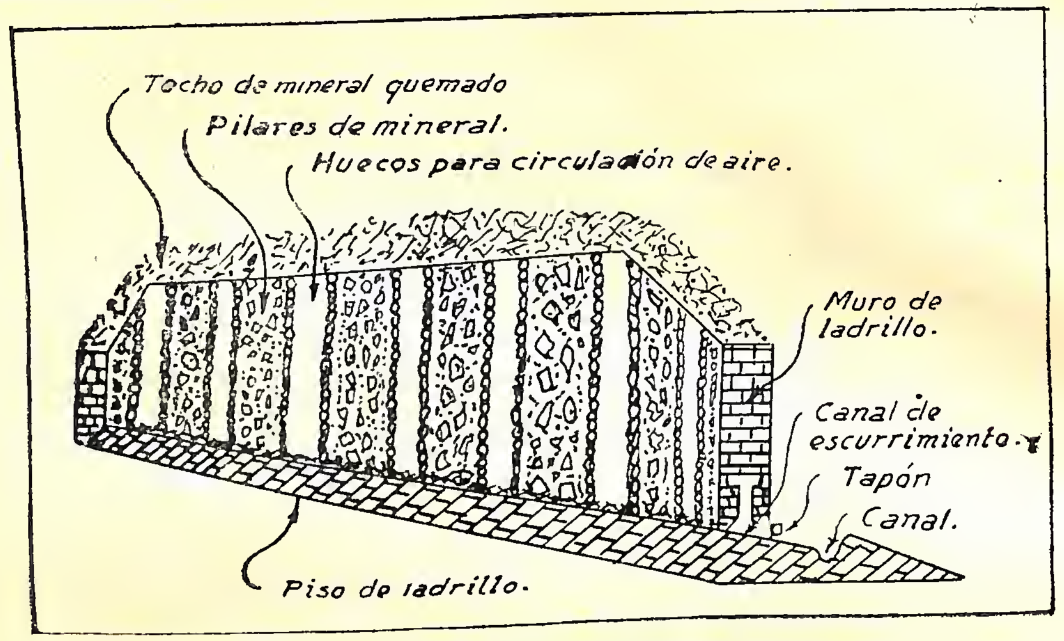


Fig. No 26.—Sección longitudinal "Calcarone".

"Se estima que para un horno de 250 a 350 metros cúbicos de capacidad, se requieren 30 días para la extracción del azufre, y que la cantidad de azufre consumida en la operación, es alrededor de un 30% de la cantidad total contenida en el mineral. Minerales de azufre que contienen menos de 10% de la substancia no pueden tratarse por este procedimiento.

"Se comprende que en esta operación parte del azufre se pierde por volatilización con la formación de dióxido de azufre el que vicia la atmósfera y es nocivo para la vegetación.

Debemos agregar que la instalación de un horno del tipo "Calcarone" debe establecerse por lo menos a 200 metros de distancia de cualquier centro de población, y a no menos de 100 metros del campo de cultivo más próximo.

Horno Gill.—"Fué este tipo de horno patentado el año de 1880 por Roberto Gill y consiste esencialmente, como puede verse en la figura siguiente, de dos cámaras de sección circular y forma cónica que rematan en una bóveda provista de una abertura con compuerta. Las cámaras en su parte baja están provistas además, de una puerta y comunican con los conductos de la chimenea. Por su parte superior se ligan entre sí, por medio de un conducto provisto de una compuerta para facilitar o impedir la circulación de los gases.

"El modo de funcionar de estas cámaras es el siguiente:

"La cámara A, que contiene el residuo de azufre de una operación anterior, se independiza de la chimenea C y se pone en comunicación con la cámara B que se ha cargado con mineral, tanto por la puerta inferior como por la superior. Se establece por lo tanto, la circulación de los gases de la cámara A al conducto D de la chimenea, después de lo cual se procede a quemar el azufre contenido en el residuo de la cámara A, con lo cual se eleva suficientemente la temperatura de los gases, para que al descender a través del mineral contenido en la cámara B, efectúen la licuación del azufre, que se recoge en la parte baja de la cámara. Terminada esta operación se invierte el proceso, sirviendo en este caso la cámara B de zona de combustión.

"La experiencia obtenida con este tipo de horno ha permitido multiplicar el número de cámaras y aumentar su capacidad individual desde 5 hasta 90 metros cúbicos.

"El tiempo que dilata la fusión del azufre no tiene relación alguna con el tamaño de las cámaras, sino más bien con la fuerza del tiro y las condiciones atmosféricas. En la práctica se logran hacer durante el año, de 45 a 90 fusiones en los hornos de dos cámaras y de 24 a 60 fusiones en los hornos de 4 cámaras.

"Con el Horno Gill se ha llegado a conseguir una extracción hasta un 20% mayor que la obtenida por el "Calcarone", con lo que se justifica el mayor costo de la instalación y mantenimiento de la planta.

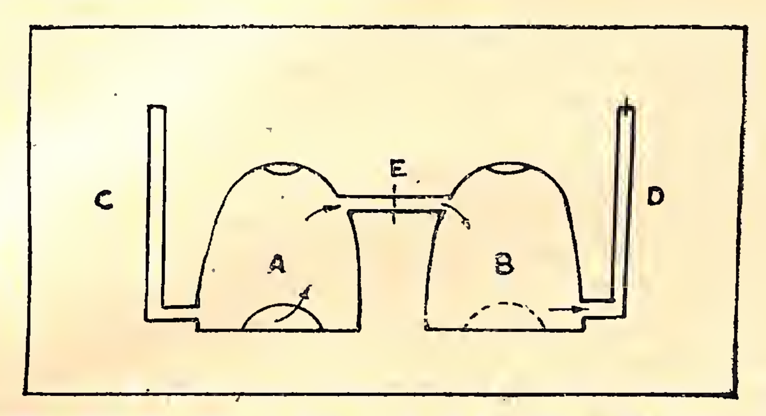


Fig. No. 27.—Horno Gill para el beneficio del azufre.

"Extracción de azufre por medio del vapor: José Gill, fué el primero que propuso la extracción del azufre por medio del vapor, patentando su procedimiento en 1859, pero no fué sino hasta 1865, cuando Emile Thomas patentó un método semejante al de Gill, aún cuando con cierta parte original, que el uso del vapor fué adquiriendo cierta popularidad.

"Las ventajas que representa el uso de este sistema no están comprendidas principalmente dentro de una extracción mayor, pues siempre queda un residuo como de 8% a 15% de azufre en los minerales y por lo mismo para minerales pobres, como de 25% de azufre, la extracción es un poco menor de la que pueden dar el "Calcarone" o el horno de

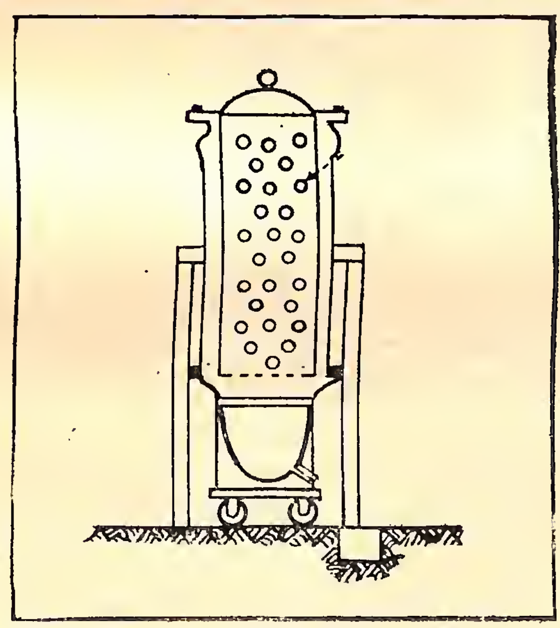


Fig. No. 28.—Horno de Thomas para el beneficio de azufre.

Gill. En cambio con el procedimiento de vapor se consigue: mejor calidad del producto; mayor extracción que con los procedimientos anteriores, cuando se trata de minerales ricos; economía en el consumo del combustible en los casos en que el mineral viene asocia-

do con cierta cantidad de yeso, pues de otro modo una parte del calor se consume en deshidratar el yeso; mayor rapidez en la operación; independencia respecto a las condiciones climatéricas y la ausencia de humos de dióxido de azufre. Todas estas ventajas unidas justifican en muchos casos la erogación mayor de una planta de esta naturaleza.

"El primer aparato construído con el principio anteriormente descrito, fué una caldera vertical, figura 28, y consistía de una cubierta cilíndrica o ligeramente cónica de lámina de fierro de 1.2 metros de diámetro y 3.2 metros de altura, sostenida en pilares y que se comunicaban en su parte inferior con un recipiente o taza movible sobre un carro y que se podía fijar firmemente a la parte baja del cilindro. En el interior de la cubierta se deslizaba un tronco de cono hecho de lámina de fierro perforada, provista en su parte inferior de una parrilla con charnela. El aparato quedaba cubierto en su parte superior por una pieza de fierro, suficientemente fija.

"Colocada la carga del mineral (de 3,000 a 5,000 Kgs.) en el tronco de cono perforado, y cerrada la tapa, se introducía vapor a presión de 3.3 a 4 atmósferas al interior de la caldera, y se dejaba obrar durante una hora aproximadamente, lo que proporcionaba tiempo suficiente para que el azufre licuado escurriera a través de las perforaciones de la lámina interior y descendiera a la taza de donde se extraía para vaciarse en moldes.

"Aparato de Gritti para la extracción del azufre: este aparato que se basa en el mismo principio, fué patentado en 1877 y ha adquirido un uso mayor que el anterior. Consiste fundamentalmente (Véase figura No. 29) en un cilindro de lámina de fierro que puede girar alrededor de un eje horizontal. Las extremidades del cilindro están cerradas por medio de tapas, una fija y la otra movible, y en su interior está provisto de un diafragma cuyo plano es paralelo al eje del cilindro y que lo divide en dos cámaras de distinto tamaño. El cilindro se conecta a través de la tapa fija o cerca del eje, con tubos de admisión y escape de vapor, por medio de los cuales se da entrada a dicho vapor a una presión de 3 a 4 atmósferas, al iniciar la operación, así como también se provee la salida una vez terminada.

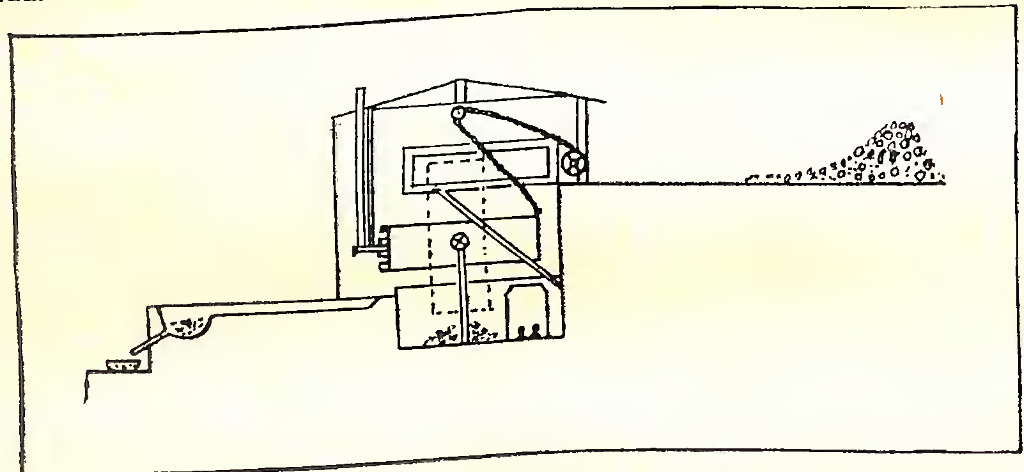


Fig. No. 29.—Aparato de Gritti para la extracción del azufre

"La manipulación de este aparato consiste en colocar el cilindro en posición vertical e introducir en la cámara de mayor tamaño el mineral que contiene el azufre, cerrar la puerta móvil y colocar el cilindro en posición horizontal, admitiendo vapor a la presión descrita para licuar el azufre, que desciende a través del mineral, pasa a través del diafragma y se coloca en el fondo del cilindro, del que se extrae por medio de una válvula. Terminado ésto, vuelve a inclinarse el cilindro y quitando la puerta móvil se hace caer el desperdicio al piso, vaciando el cilindro y dejándolo en condiciones de recibir nueva carga. Un aparato de esta clase, de 1.2 metros de diámetro, por 4 ó 4.5 metros de longitud, puede recibir de 5 a 5.5 toneladas de mineral y producir alrededor de 7 fusiones en 24 horas. Se ha encontrado en este procedimiento, que minerales de tamaño pequeño o de tipo arcilloso, no pueden tratarse ventajosamente por vapor, en virtud de que son demasiado compactos para permitir una libre circulación del azufre fundido a través de su masa. Con el

fin de obviar esta dificultad, se ha pensado en separar la cámara del cilindro en varios compartimientos provistos de conductos de descarga separados.

"Horno o caldera horizontal: además del aparato anteriormente descrito, se usa uno basado en el mismo principio, que se diferencia del primero en que es de tipo estacionario (Véase figura 30). Consta de un cilindro fijo, inclinado de 8º a 10º y provisto de una sola tapa movible, colocada en la extremidad más alta, que permite la entrada de carros especiales, provistos de láminas perforadas en las que se coloca el mineral de azufre. Estos ya cargados, penetran al cilindro por una vía, ligada con la exterior y permanecen allí mientras dura el proceso de fusión originado por la introducción del vapor. El azufre fundido que escurre de los carros circula en el fondo del cilindro y se colecta en la extremidad inferior, de donde se extrae por medio de una válvula. Este tipo de caldera no se ha generalizado mucho aún y presenta algunas ventajas sobre el tipo de cilindro giratorio, entre las cuales pueden mencionarse: la mayor facilidad de operación y la menor pérdida de calor por radiación, aún cuando tiene la desventaja de ofrecer menor capacidad para igualdad de volumen con el tipo anterior. Las mismas dificultades encontradas en el sistema rotatorio para tratar minerales de tamaño fino subsisten en este sistema.

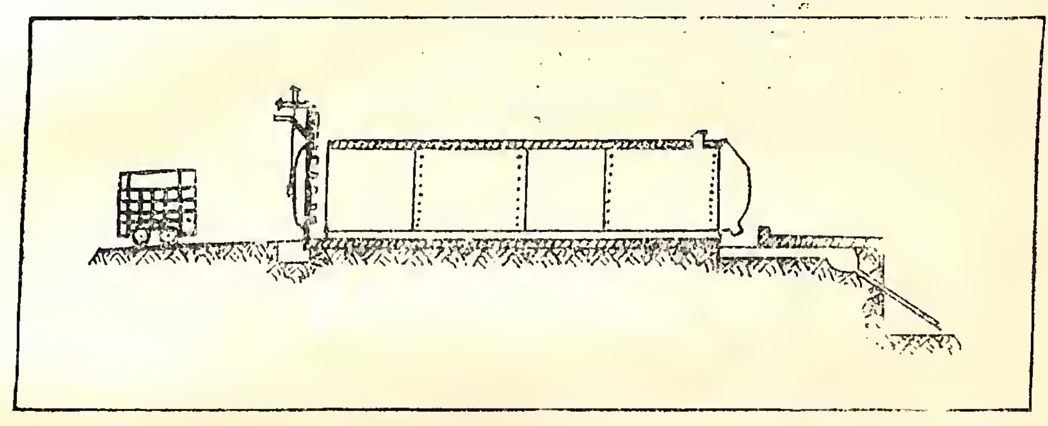


Fig. No. 30.—Horno o caldera horizontal, para la extracción de azufre.

"Existen, además de los procedimientos descritos, otros que aún cuando no han llegado a generalizarse, merecen ser mencionados aunque sea ligeramente. Uno de ellos está basado en la fusión del azufre en el seno de una solución salina en la que se sumerge el mineral, habiéndose intentado el uso del cloruro de calcio para tal objeto; otro procedimiento está basado en la destilación del azufre y ha sido empleado en Marsella, usando un tipo de horno que se conoce con el nombre de Horno Dubois. Se ha intentado, además, por un procedimiento de disolución extraer el azufre de sus minerales, empleando como disolvente el bisulfuro de carbono.

"Las dificultades anteriormente indicadas en el sistema de vapor para extraer el azufre, cuando se tratan minerales de azufre al estado de división fina, han forzado a los investigadores a buscar nuevos métodos de tratamiento, lo que parece haberse conseguido aprovechando los últimos adelantos de la industria metalúrgica y usando para el objeto indicado, el proceso de flotación extensamente conocido en la actualidad para el tratamiento de concentración de algunos minerales metálicos. En los Estados Unidos se inició este proceso por el año de 1918, tratando de aprovechar depósitos de azufre que habían sido considerados previamente como inexplotables; de las experiencias hechas en los laboratorios americanos se desprende que existe la posibilidad de concentrar el azufre de sus minerales extrayéndolo en la proporción del 80% del contenido y bajo la forma de concentrados que contienen 80% de azufre en su masa. Los aparatos usados han sido máquinas de flotación de tipo neumático y los aceites han pertenecido a los tipos de aceite de pino, creosota, alquitrán de carbón, kerosina, ácido cresilícico y ácido pirolígeno, habiéndose obtenido los mejores resultados iniciales con los aceites denominados "Carbolic creosote" número 158 o una mezcla de partes iguales de Kerosina y "Pesnacola" número 80. Aun cuando no se ha llegado a generalizar el uso de este procedimiento por encontrarse todavía en la

etapa de la experimentación, todo hace pensar que será de importancia en lo futuro, pues no sólo resuelve las dificultades encontradas en otros métodos, sino que aparentemente los concentrados de azufre son más propios para distintas aplicaciones.

REFINACION DEL AZUFRE

"La refinación del azufre está basada en un proceso de refinación para el cual se emplean retortas en las que se verifica la fusión y volatilización del azufre, condensándose éste después en cámaras apropiadas. Uno de los aparatos adaptados a este uso es el que aparece en la figura No. 31, que se conoce en Italia con el nombre de aparato de Zanolini. Consiste esencialmente, de una serie de retortas, R, que se colocan sobre una bóveda provista de conductos por los cuales circula el calor originado en un hogar, h. Las retortas comunican directamente con un tubo de fierro fundido, T, que descarga en un recipiente cilíndrico, C, de fierro fundido, que sirve como condensador de los humos de azufre y que descarga directamente el azufre fundido en un recipiente m. La cámara que contiene las retortas se comunica con otra por conductos especiales, que contiene calderas de alimentación del azufre, en las que se coloca el producto por refinar, para ser fundido en ellas, pasando después a través de una válvula de control por el conducto P, que vacía el azufre fundido en la retorta R, donde sufre una volatilización recorriendo el tubo T para ir a condensarse en el recipiente C. La capacidad de las retortas en Italia es de 450 a 500 kilogramos y se requiere aproximadamente 12 horas para refinar cada carga. El residuo que queda en la retorta R y que constituye las impurezas, se extrae por la puerta D".

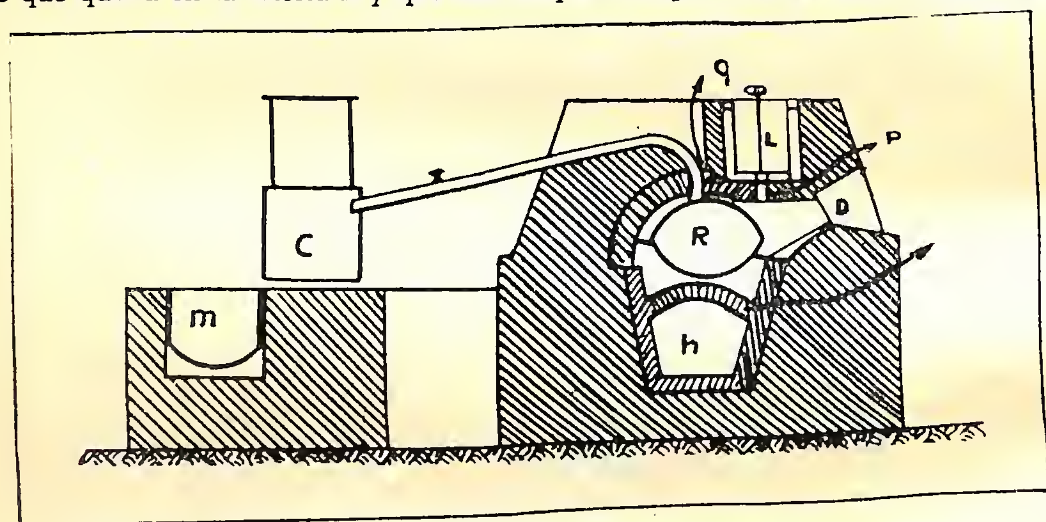


Fig. No. 31.—Aparato de Zanolini, para la refinación de azufre.

PRODUCCION MUNDIAL DE AZUFRE

La demanda que el azufre tiene en el mercado mundial, determina su producción, tal y como ocurre en el caso de cualesquiera otra substancia mineral. Así pues, el total producido experimenta fuertes variaciones. Durante algunos años, hasta 1939, se había notado que el tonelaje del azufre puesto en el mercado iba en descenso, pero al iniciarse el gran conflicto armado actual se produjo un aumento de producción en los Estados Unidos. Por lo que toca a la potencialidad de las minas sicilianas, ésta disminuyó, diciéndose que tal cosa debe atribuírse a que se quemaron, provocando una notable reducción de su producción, no obstante el programa industrial italiano, que requería fuertes cantidades de azufre.

A partir del segundo trimestre de 1939 la expansión industrial de los Estados Unidos de Norteamérica demandó mayores tonelajes de azufre elemental, y como poseía grandes cantidades de reserva, listas para su aprovechamiento, no sólo ha cubierto sus necesidades, sino que ha exportado fuertes remesas.

La producción mundial de azufre debe considerarse desde tres puntos de vista:

1o.—Producción obtenida de criaderos de azufre elemental;

2o.—Producción obtenida como resultado del tratamiento de pirita, y

3o.—Subproducto obtenido del tratamiento de otras substancias.

Al describir someramente la distribución geográfica mundial del azufre se indicaron todos aquellos países que se sabe guardan yacimientos de azufre nativo; algunos de ellos han producido tonelajes generalmente de poca significación que no alcanzan a compararse, ni con mucho, a los obtenidos en los tres países siguientes: Estados Unidos, Italia y Japón, que representan, según lo demuestran las estadísticas, a los mayores productores.

Hasta el año de 1904 Italia gozó del privilegio de ser la nación que controlaba el mercado mundial de azufre, gracias a sus yacimientos de Sicilia. Sin embargo, a partir de 1913, con la explotación de los domos salinos conteniendo azufre, los Estados Unidos quitaron a Italia el monopolio que había disfrutado.

Para dar una idea del desarrollo que la industria del azufre ha ido adquiriendo en los Estados Unidos, bastará con decir que en 1880 su producción era de sólo 536 toneladas, con valor de 21,000 dólares.

En el siguiente cuadro se podrá apreciar la producción de azufre en los Estados Unidos, para los años indicados:

Años	Toneladas	Valor en Dls.
1880	536	21,000
1885	638	17,875
1890	...	...
1895	1,607	42.000
1900	3,147	88,100
1905	181,677	3.706,560
1907	293,106	5.142.850

1935 a 38: véase cuadro siguiente.

Hasta 1900 la mayor parte del azufre era importado de Italia, cuyas minas en Sicilia rendían el 90% de la producción total de dicho país. En 1914 los Estados Unidos se convirtieron en exportadores, después de acumular, en 1912, una reserva de 490,000 toneladas de azufre puro.

La producción de los domos salinos de Texas y Louisiana ha sido fantástica, alcanzando el 99% del total producido en los Estados Unidos. Este azufre tiene una pureza de 99% a 99.7%. Algunas veces se ha obtenido hasta con 99.9%.

Son dieciséis los países que producen azufre nativo, (51) y aunque en algunos casos las estadísticas son incompletas, éstas se dan en el siguiente cuadro, correspondiendo a los años de 1935 a 1938 inclusive.

La producción se expresa en toneladas.

---

(51) Mineral Yearbook. 1940 — United States Departament of the Interior — Bureau of Mines.

Países	1935	1936	1937	1938
Argentina	7	...	...	...
Bolivia	4,183	935	1,712	1,632
Chile	19,792	25,525	16,766	20,959
Ecuador	118	59	54	68
Francia	64	123	157	140
Grecia	23	150	67	75
Guatemala	...	16	11	15
Italia	307,024	322,396	338,101	374,339
Japón	162,341	172,545	No hay datos	No hay datos
México	3,206	1,272	" "	49
Indias Orientales Holandesas	9,492	11,311	12,474	15,986
Palestina	561	79	494	1,196
Perú	2,117	1,696	1,551	1,975
Taiwán	1,054	1,207	No hay datos	No hay datos
Turquía	2,144	3,139	2,229	3,684
Estados Unidos	1.632,590	2.016,338	2.741,970	2.393,408
Totales:	2.144,716	2.556,791	3.115,596	2.813,526

Rusia, España y China, aunque no se mencionan en el cuadro anterior, se sabe que también producen algo de azufre elemental. No hay datos estadísticos sobre el particular.

A los tonelajes consignados con anterioridad no se les ha sumado lo correspondiente a mineral de azufre en piedras de yeso y caliza, conteniendo de 40% a 80% de azufre.

Hay países como España, Portugal, Noruega, etc., cuyo suelo es notablemente pobre en criaderos de azufre nativo; sin embargo, tales naciones consumen para el mantenimiento de sus industrias que utilizan azufre, ya sea elemental o combinado, grandes cantidades de tal elemento. Para suplir su deficiencia se ven obligados a disponer de sus magníficas reservas de piritas de fierro, de donde obtienen tonelajes muy considerables de azufre. El faltante lo importan, según se podrá apreciar al tratar sobre mercado y precios del azufre.

La producción de pirita de España y Portugal, combinada, equivale a 2/3 de la mundial; de este gran total, 90% proviene de las minas de Río Tinto, Huelva y La Laja, en España; el 10% faltante se obtiene de Santo Domingo, Portugal. El porcentaje de azufre contenido en las piritas de la península ibérica varía entre 48% y 51%, calculándose que las reservas de Río Tinto montan a 300 ó 400 millones de toneladas, que, al ritmo actual de consumo, bastarán para 100 años de producción.

En Noruega los criaderos de pirita se localizan desde el sur de Bergen hasta el norte de la península, y toman la forma de lentes. La producción anual oscila entre 400 y 500 mil toneladas con 42% a 49% de azufre y del 1% a 3% de cobre. Sus exportaciones son principalmente para Suecia, Alemania e Inglaterra. Las minas de Lakken, cerca del círculo polar ártico, con una producción de 250,000 toneladas anuales, ocupan el primer lugar entre los yacimientos noruegos. La mina de Sulitjelm, la segunda en capacidad, produce 150,000 toneladas por año.

Las reservas noruegas se calculan suficientes para un período de 30 años, consumiendo 500,000 toneladas por año.

La mayoría de la producción de piritas de fierro se empleó para la fabricación de ácido sulfúrico; otra parte se usó para producir azufre elemental, posteriormente usado en distintas industrias, según quedó descrito al principio de esta Memoria.

Según M. T. Latus (52), la producción mundial de piritas, incluyendo piritas cupríferas, fué, para los años de 1937 a 1939, como sigue:

---

(52) Loc. cit. — Mineral Yearbook, p. 1299

Países	1937	1938	1939
		Toneladas	
Alemania	193,050	200,064	No hay datos
Argelia	17,830	19,430	"
Canadá	54,595	20,300	103,305
Chipre	193,587	256,551	No hay datos
Checoeslovaquia	7,712	No hay datos	"
España	2.256,800	2.331,200	1.635,200
Estados Unidos	235,520	222,612	221,559
Finlandia	39,264	44,281	No hay datos
Francia	65,027	65,655	"
Grecia	100,295	118,605	"
Italia	402,391	386,079	"
Noruega	452,709	446,939	"
Polonia	36,195	36,883	"
Portugal	283,986	251,247	673,200
Rhodesia	8,128	10,900	No hay datos
Rumania	6,717	7,061	"
Suecia	75,337	84,390	"
Sur Africa	12,931	13,947	"
Yugoeslavia	60,253	67,681	"
Totales:	4.502,325	4.583,825	2.633,264

Aunque casi todo el azufre en el Mundo se obtiene principalmente de los criaderos de dicho elemento, o bien del tratamiento de piritas, en ciertas partes suelen obtenerse algunas cantidades como subproducto en las plantas de refinación de petróleo y purificación de gas y gasolina. En diversos países europeos se han recobrado fuertes tonelajes de azufre en esas industrias, al extraerse el sulfuro de hidrógeno que contienen los aceites minerales y gases tratados. En América se le da poca atención; sin embargo, se nota una tendencia a aprovechar esa fuente de azufre en las refinerías, plantas para la purificación de gas de alumbrado o combustible, hornos de coquización, y en los campos petroleros, donde se desperdician enormes cantidades de gas, quemándole, perdiéndose, además del azufre que contiene, otros posibles subproductos muy valiosos.

F. W. Clarke (53), dice sobre el azufre contenido en el petróleo:

"Petróleo libre de azufre es extremadamente raro; sin embargo, la cantidad de tal constituyente por lo regular es muy pequeña. En algunos casos los compuestos de azufre en los petróleos se presentan, en abundancia, como ocurre por ejemplo, en el caso del que se extrae en Lima, Ohio. En esos chapopotes Mabery y A. W. Smith encontraron sulfuros normales de la serie de las parafinas, habiendo separado diez compuestos: desde el sulfuro de metilo: C_2H_6S, hasta el sulfuro de exilo: $C_{12}H_{26}S$. En los chapopotes canadienses Mabery y Quayle descubrieron otra serie de compuestos de azufre, a los que corresponde la fórmula general: $C_nH_{2n}S$, a los que llamaron tiofenas. Ocho de los miembros de esa serie se describieron como teniendo composiciones comprendidas entre $C_7H_{14}S$ y $C_{18}H_{36}S$.

"En los campos petroleros de Texas se ha notado la presencia de azufre libre".

El azufre se obtiene también en grandes cantidades, como subproducto, en algunas plantas que tratan por fundición concentrados de sulfuros metálicos, principalmente de cobre y zinc. Generalmente el azufre recuperado se extrae en forma de ácido sulfúrico.

En Europa las plantas metalúrgicas obtienen grandes cantidades de ácido sulfúrico, pero desgraciadamente no se dispone de estadísticas que nos permitieren apreciar la importancia de las recuperaciones. El Japón, de igual manera, produce ácido sulfúrico.

(53) F. W. Clarke — Data of Geochemistry, U. S. Geol. Survey Bull. 770, p. 736.

Los Estados Unidos en un período de cinco años comprendidos entre 1934 y 1938, recuperaron, como se puede apreciar en el siguiente cuadro, un total de 3.433,077 toneladas de ácido sulfúrico.

Toneladas de ácido sulfúrico (60°B) producido en las plantas de cobre y zinc de los Estados Unidos. Años de 1934 - 1938 (54).

	1934	1935	1936	1937	1938
Plantas de cobre	168,676	160,151	226,738	291,638	220,297
Plantas de zinc	406,984	443,476	505,882	542,356	466,879
Totales:	575,660	603,627	732,620	833,994	687,176

MERCADOS Y PRECIOS

Las estadísticas proporcionadas en el Mineral Yearbook correspondiente a 1940, (55) de donde se ha tomado el cuadro de la p. 79 de exportaciones de azufre, hacen notar el movimiento de las remisiones hechas por los Estados Unidos, que es desde hace muchos años el más grande productor y controlador del mercado mundial de azufre, especialmente ahora que los criaderos italianos posiblemente no producen tonelaje de exportación.

Las cifras correspondientes a las exportaciones hechas por los Estados Unidos entre 1937 y 1939 muestran que el primero de dichos años fué, con excepción de 1929, aquel en que mayor tonelaje de azufre refinado se exportó. Comparando las cifras correspondientes a 1939 con las de 1938, se notará que hubo un aumento equivalente a 8%, a favor de 1939, no obstante que al principio del año se notó flojedad en el mercado, cosa que durante los últimos meses se corrigió, habiendo habido un aumento notable en las ventas hechas.

Con anterioridad a la guerra Alemania era el mejor importador de azufre americano, lugar que pasó a ocupar el Canadá. Ese país, unido a Australia y la Gran Bretaña, son los mejores mercados que en la actualidad tiene el azufre de los Estados Unidos.

Se notará, por ejemplo, que entre las importaciones hechas tanto a Sur América como a Europa, no aparecen ni Chile ni Italia, pues estos países producen el azufre que necesitan para su consumo interior.

La Oficina de Economía y Estadística del Departamento de Minas del Gobierno de los Estados Unidos de Norte América, con el objeto de representar de una manera gráfica las importaciones y exportaciones tanto de azufre como de piritas, ha preparado, para las cantidades correspondientes al año de 1934, los dibujos de la p. 80, donde de una manera perfectamente clara se puede apreciar la cantidad de azufre obtenida en los principales países productores, así como su consumo aparente y tonelajes importados y exportados a las distintas partes del mundo.

En el diagrama correspondiente al azufre se puede apreciar que el movimiento de su mercado mundial es bastante intenso, especialmente entre Norte América y Europa. De 1934 a la fecha las cifras de importación y exportación han aumentado en forma notable entre ambos continentes, así como hacia Australasia. Véanse cuadros estadísticos de páginas anteriores.

Por lo que respecta al mercado de piritas, este se hace casi exclusivamente entre Europa y los Estados Unidos de Norte América, país que importa del viejo continente y también de Canadá. Algo de la producción europea se consume en Africa. En el Japón su producción y consumo interior están compensados. La situación actual del mercado mundial de piritas es aproximadamente igual al presentado gráficamente en la Fig. de la p. 80.

De 1909 a la fecha, los precios que el azufre ha alcanzado en el mercado han sido, en lo general, superiores al actual, como sigue: entre 1909 y 1915 se cotizó a 18.00 dlls., l.a.b. en la mina. Al sobrevenir la primera gran guerra y durante varios años, se vendió

(54) Mineral Yearbook, 1940 — p. 1290.
(55) Loc. cit. — p. 1293.

EXPORTACION DE AZUFRE EN LOS ESTADOS UNIDOS, POR PAISES EN LOS AÑOS DE 1938 - 1939

P A I S E S	AZUFRE CRUDO				AZUFRE en pedazos, refinado, molido, sublimado, y flores de			
	1 9 3 8		1 9 3 9		1 9 3 8		1 9 3 9	
	Tons.	Valor Dls.	Tons.	Valor Dls.	Lbs.	Valor Dls.	Lbs.	Valor Dls.
NORTE AMERICA —								
Canadá	82,651	1,486,463	142,437	2.315,336	5.236,975	107,157	6,686,536	144,304
Centro América	118	3,632	108	3,328	282,469	7,083	284,818	6,594
Indias Orientales	8,575	160,837	9,163	170,718	211,715	5,290	254,411	7,691
México	5,946	124,435	7,053	140,354	1,556,482	32,216	1,879,576	36,683
Newfoundland y Labrador	2,989	53,802	4,983	79,728	4,000	163	3,000	122
T o t a l e s	100,279	1,829,169	163.744	2:709,464	7,291,641	151,909	9,108,341	195,394
SUR AMERICA —								
Argentina	16,102	288,969	29,051	513,310	81,529	2,777	367,373	13,182
Brasil	4,106	82,715	10,882	193,382	359,867	6,805	2,738,603	48,359
Colombia					443,427	12,041	803,125	17,306
Diversos					242,905	4,118	936,824	18,117
T o t a l e s	20,208	371,684	39,933	706,692	1,127,728	25,741	4,845,925	96,964
EUROPA —								
Alemania	32,817	610,750	8,702	148,409	454,148	5,919	157,722	2,079
Bélgica	6,032	113,387	7,057	131,630	101,798	1,390	126,069	1,840
Dinamarca					1,361,579	17,090	1.066,998	13,775
Francia	98,751	1,826,896	39,811	699,326	522,049	6,807	591,918	8,220
Grecia							18,739,160	252,516
Holanda	21,663	418,980	12,515	232,283	1,009,701	12,672	972,605	12,867
Inglaterra	99,135	1,615,032	112,810	1,745,164	4,935,464	65,730	5,001,073	75,099
Suecia	5,993	106,199	13,097	230,803	676,783	8,499	1,223,140	15,495
Diversos	8,400	149,800	11,678	192,558	2,089,286	27,439	1,364,243	19,186
T o t a l e s	272,791	4,841,044	205,670	3,380,173	11,150,808	145,546	29,242,928	401,077
ASIA —								
T o t a l e s	8,832	180,468	33,217	666,391	2.986,877	46,917	7.987,532	118,798
AFRICA —								
Argelia	14,057	261,903	5,500	98,999				
Mozambique					359,267	6,444	1.019,840	18,877
Unión de Sur Africa	11,298	203,364	19,911	358,415	1.250,551	24,803	1.822,980	33,823
Diversos	10	250	750	18,069	189,595	2,942	559,949	7,951
T o t a l e s	25,365	465,517	26,161	475,483	1.799,413	34,189	3.402,769	60,651
OCEANIA —								
Australia	108,465	1.928,755	109,341	1.952,859	3.805,520	56,529	1.142,501	29,501
Nueva Zelanda	43,167	762,354	49,753	860,689	299,768	8,924	282,039	7,589
Diversos					1,200	18		
T o t a l e s	151,632	2.691,109	159,094	2.833,548	4.106,488	65,471	1.424,540	37,090
GRANDES TOTALES	579,107	10.378,991	627,819	10.771,751	28.462,955	469,773	56.012,035	909.974

a razón de 22.00 dlls. la tonelada, l.a.b. en la mina. Ya en 1924, volvió a su precio normal: entre 16 y 18 dólares la tonelada, l.a.b. en las minas.

El precio del azufre generalmente no se cotiza sino en determinadas revistas y periódicos, y tampoco los vendedores proporcionan listas de precios de venta. Durante largo tiempo el precio se ha mantenido estable, a razón de 16 Dlls. la tonelada, libre a bordo, en las minas. Al precio anterior se le agregan los costos de arrastre o fletes marítimos cuando se contrata puesto fuera de los centros de producción. El anterior precio de 16 Dlls. por tonelada varía de acuerdo con la clase de azufre; dicho precio se refiere únicamente al azufre con pureza de 99%, tal y como se obtiene en los domos salinos de Texas, en explotación por el método de Herman Frasch.

AZUFRE - 1934

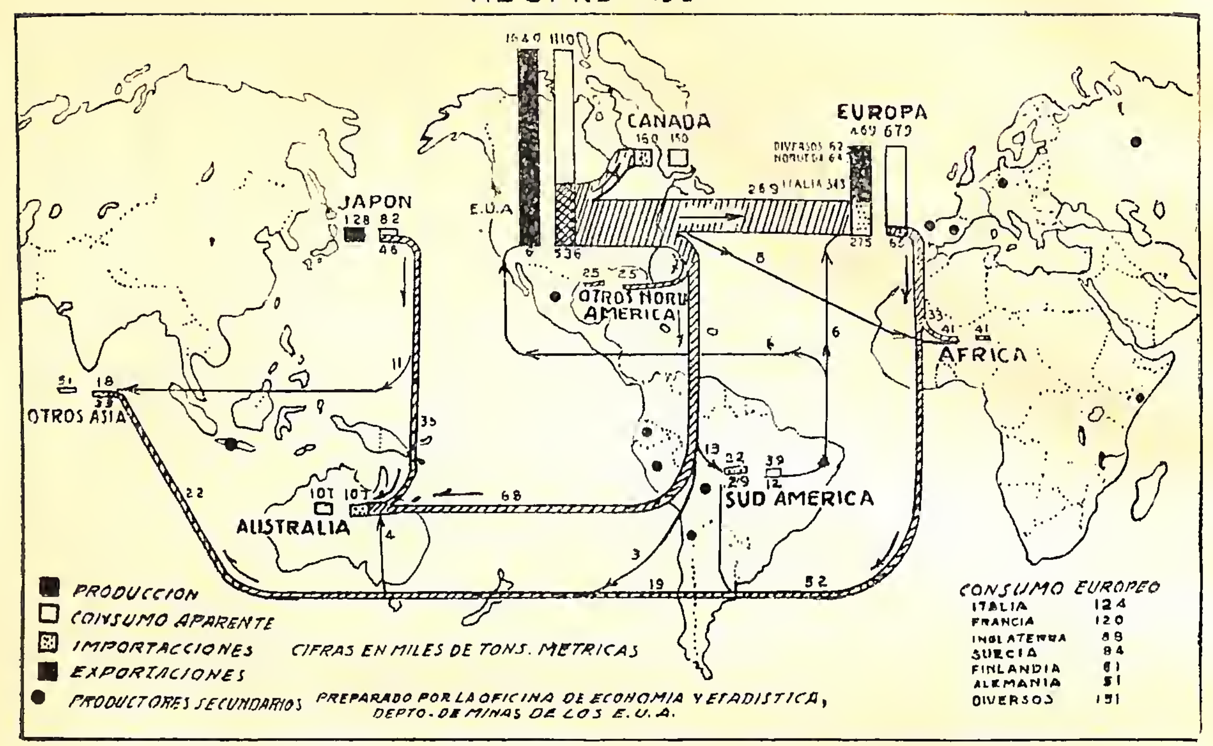


Fig. No 32.—Producción, consumo y distribución mundial de azufre en 1934.

PIRITAS - 1934

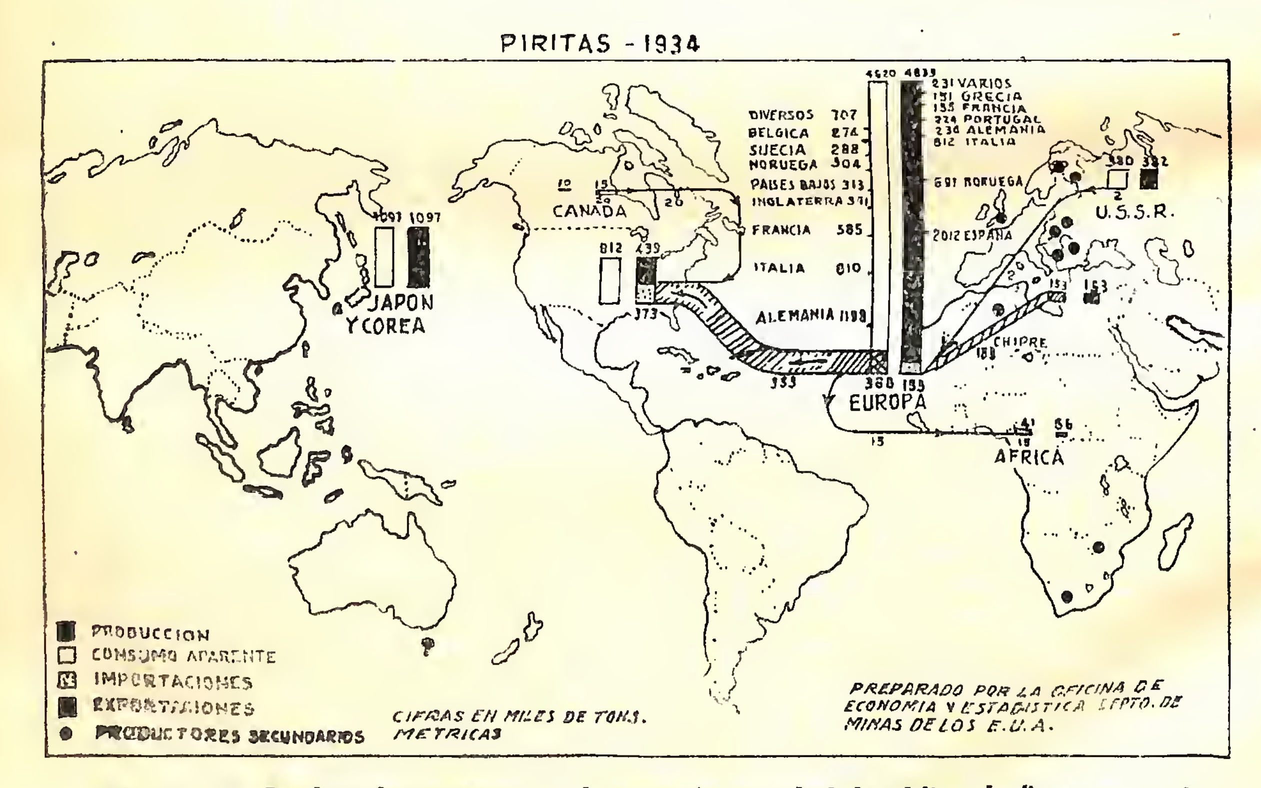


Fig. No. 33.—Producción, consumo y distribución mundial de piritas de fierro en 1934.

ÍNDICE

Págs.

Este
Libro se terminó de imprimir
en el mes de Agosto
de 1945 en los talleres linotipográficos "Editorial los
Pinos", Avenida 1º de Mayo
número 230, S. Pedro de los Pinos, D. F.

FECHA DE DEVOLUCION

El lector se obliga a devolver este libro antes del vencimiento de préstamo señalado por el último sello.

